卒業研究報告

題目

OBIC を用いた LSI の欠陥箇所の検出

報 告 者

学籍番号: 1110161
氏名: 兼井 佑輔

指 導 教 員

眞田 克 教授

平成 23 年 2 月 8 日

高知工科大学 電子・光システム工学科

目次

第１章　はじめに 2
1.1　研究の背景 2
1.2　研究の目的 2
1.3　論文構成 2
第２章　OBIC について 3
2.1　OBIC とは 3
2.2　装置について 3
2.3　光励起の原理 5
2.4　光電流の原理 6
第３章　正常品サンプル作製 8
3.1　使用サンプル 8
3.2　薬品開封 8
3.3　RIE 11
3.4　動作確認 15
第４章　故障品サンプル作製 18
4.1　スタンガンによる過電圧印加 18
4.2　ESD 破壊試験装置による静電破壊 20
4.3　YAG レーザによるジャンクション破壊 23
第５章　OBIC 装置による解析 29
5.1　スタンガン破壊サンプル 30
5.2　ESD 破壊サンプル 34
5.3　YAG レーザ破壊サンプル１ 35
5.4　YAG レーザ破壊サンプル２ 39
第６章　考察・結論 43
考察 43
結論 43
謝辞 43
参考文献 44

第１章　はじめに

1.1　研究の背景

近年，LSI の大規模化・多層配線構造化は飛躍的に発展を遂げている．それに伴い LSI の内部故障も増加しており，目視では確認できない故障を解析するための技術が必要とされている．

そのための手法として光電流(OBIC)を用いた故障解析技術がある．レーザを照射することによって PN 接合面で発生する光電流を可視化し，コントラストの違いから故障箇所の特定を行う．この手法を用いることにより内部故障個所の特定も素早く行うことができる．

1.2　研究の目的

現在用いられている主な故障解析方法としてフォトエミッション顕微鏡解析，SEM，など赤外線や X 線を用いた故障解析技術がある．

本実験ではそういった解析技術のひとつである OBIC を用いた故障解析技術について学ぶ．サンプルに故障を作成し，正常サンプルの OBIC 像と比較することにより故障個所の特定を行う．また故障の作成に当たり，配線切断によるオープン故障，レーザによるジャンクション破壊や加電圧印加など複数の破壊方法を用い、OBIC 像の違いを観察することにより特性を理解する．

1.3　論文構成

2 章では OBIC 装置や光電流の原理について述べる．3 章では正常サンプルの作成過程と RIE 装置，動作チェック方法について述べる．第 4 章では故障サンプルの作成過程について述べる．第 5 章では作成した故障サンプルによる OBIC 像を用いた故障箇所の検出について述べる．第 6 章ではそれぞれの考察と結論について述べる．

第２章　　OBIC について

この章では OBIC に述べる

2.1 OBIC とは

OBIC(Optical Beam Induced Current)とは

Optical：光学の

Beam：ビーム

Induced：誘発された

Current：電流

の頭文字をとったもので、光電流を指す。

2.2 装置について

図　2-1：OBIC 装置(JDLM-6602E)

OBIC 装置は共焦点レーザ顕微鏡に使用するレーザを光源として利用することにより，光学像と OBIC 像を観察できる装置である．共焦点レーザ顕微鏡はレーザ光をプローブとして試料を規則的に走査し、反射光を検出する．焦点と共役の位置にピンホールが設置されており，焦点位置からのみの散乱光を選択し，ピンボケの原因となる光を遮断することによって鮮明な画像を得ることができる．また，共焦点レーザ顕微鏡は取得した画像情報をコンピュータ上で再構築することにより三次元情報イメージを作成することが可能であり，二次元，三次元画像処理を行うことが可能である．

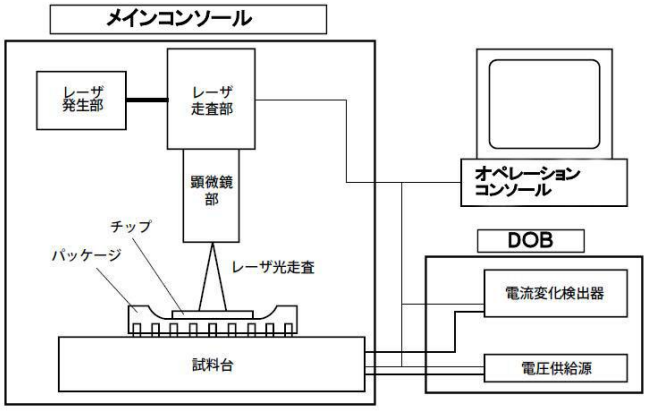


図 2-2：装置構成図

図 2-2 は OBIC 装置の構成図である．メインコンソールは試料台と顕微鏡部から構成されており，試料台にサンプルをセットし顕微鏡部からレーザを走査しサンプルの観察を行う．今回の実験ではサンプルの VDD に DOB の OUTPUT を，GND に DOB の INPUT を接続し光電流の検出を行った．本実験で使用したレーザは He-Ne レーザの発振波長 632.8nm である．メインコンソールの操作は全てオペレーションコンソールから行い，試料台の座標設定，レンズ倍率設定，各種画像処理を行うことができる．DOB は電流を検知するためのアンプであり，本実験で使用したアンプは DOB10 感度 40pA でリミット電流値は 20mA である．

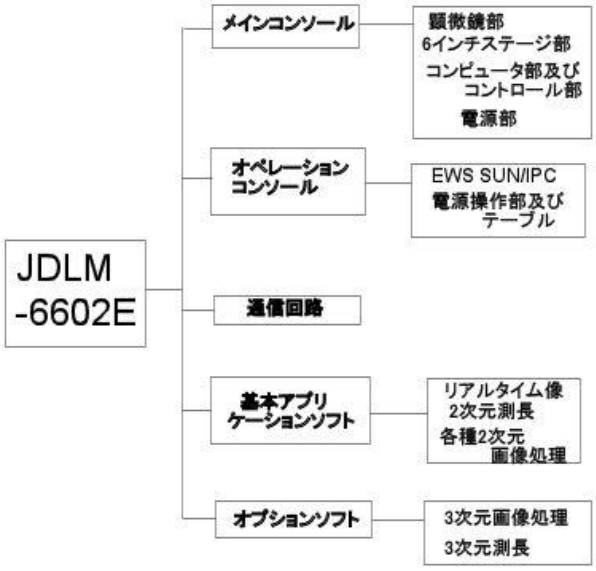


図 2-3：各種構成図

本実験ではOBIC装置により, PN接合面に発生する光電流を検出することによって故障個所の特定をおこなった. PN接合面における光電流の発生原理について説明する.
光電流を説明するに当たり，まず光励起の原理について説明する.

2.3 光励起の原理

レーザなどの光源が半導体に照射されたとき, 光源 $h\nu$ のエネルギーが半導体のバンドギャプより大きければ，電子が価電子帯から伝導帯へと励起し，電子が抜け出た価電子帯には正孔が発生する．この現象を光励起と呼ぶ.

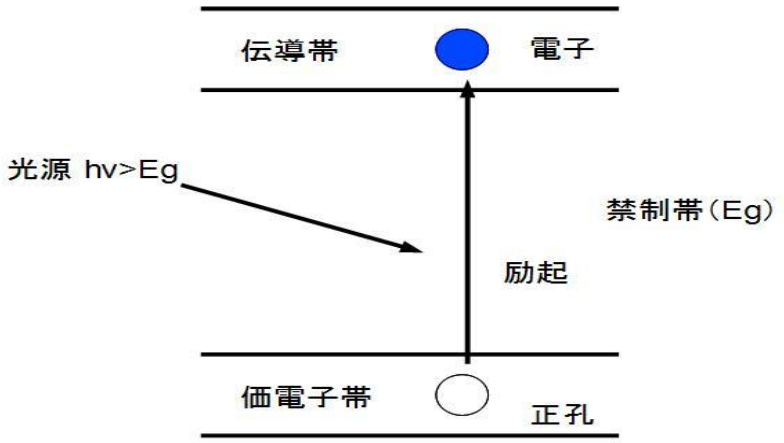


図 2-4：光励起

光源のエネルギーがバンドギャップより小さいと電子は伝導帯に上がることができず励起は起こらない.
本実験に置き換えて考えてみると，使用したサンプルのバンドギャップはシリコンの Eg=1.17[eV]で，使用した OBIC 装置の波長 λ=632.8[nm]

エネルギーの計算式は E=hc/λ[J]

h：プランク定数 6.63×10^－34[J/s]
c：光速 c＝3.0×10^8[m/s]
λ：632.8[nm]

E の単位は J なので 6.24×10^8 をかけ eV に変換する.
結果 E は 1.96[eV]で E>Eg となり OBIC 装置の光源である He-Ne レーザは十分に励起を起こすことができる.

2.4 光電流の原理

励起によって発生した電子・正孔は正の固定電荷と負の固定電荷による電界ドリフトで電子はN領域へ，正孔はP領域へと移動していく．このキャリアの移動によって発生する電流を光電流という．接合部のある半導体の場合は外部電圧を印加しなくても光電流を検出できる．発生する光電流は微小なため，OBIC装置ではDOBアンプで光電流を増幅することにより観察を行っている．

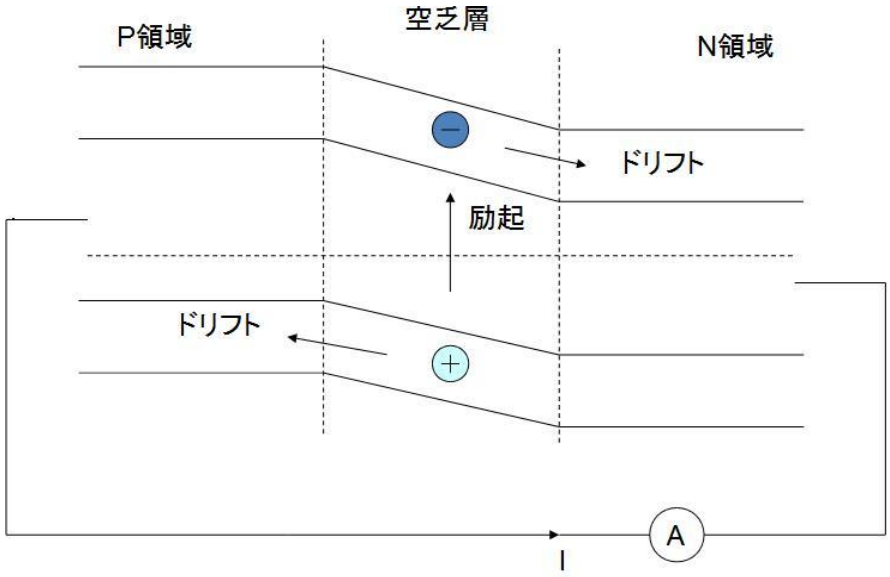


図 2-5：光電流

光電流はPN接合面での空乏層に発生する．このことからOBIC装置では，光電流を輝度で表し可視化することにより PN 接合面で発生する空乏層の観察をすることができる．本実験では正常品と故障品でOBIC像(空乏層)を比較することにより，故障箇所の特定を行う．

OBICでジャンクションに電圧を印加し観察をする際は，基本的に逆バイアスで行う．PNジャンクションに逆バイアスが印加されている場合は接合部の空乏層が発達する．そしてN層側には多数キャリアの伝導電子が，P層側には多数キャリアの正孔が集まる．

ここで空乏層以外の部分に光が照射された場合は，励起によって発生した電子・正孔対は電界強度が弱くドリフト速度は非常に遅い．そこで少数キャリアは周りに存在する多数キャリアと結合し，キャリアの発生は無かったことになり、OBICは発生しなかったことになる．

空乏層に光が照射された場合は，空乏層内で発生した電子・正孔対は電界によってドリフトし，それらのキャリアは再結合等によって消滅することなく外部

に流れ出す．これが PN ジャンクションの OBIC となる．

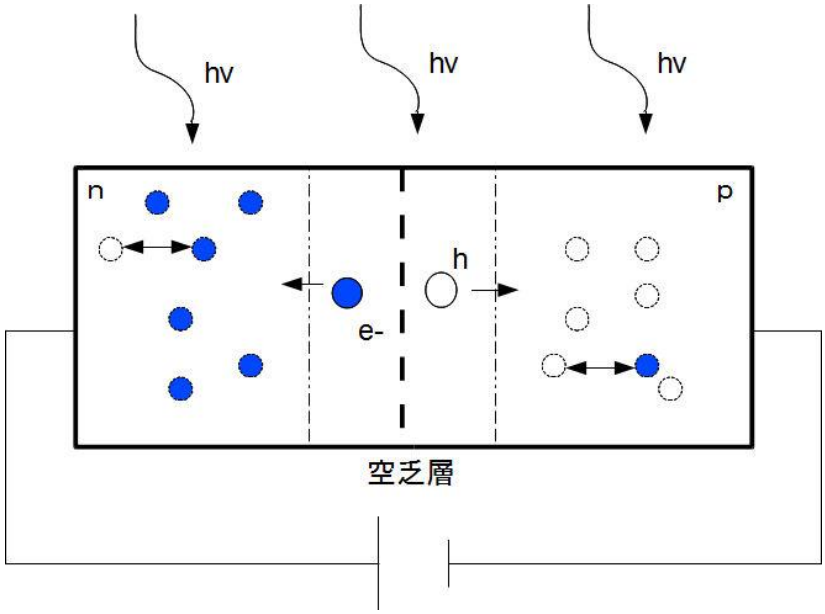


図　2-6：逆バイアス

図 2-4 は共焦点レーザ顕微鏡での光学像で, 図 2-5 がレーザによって発生した光電流を輝度によって可視化し表した OBIC 像である．

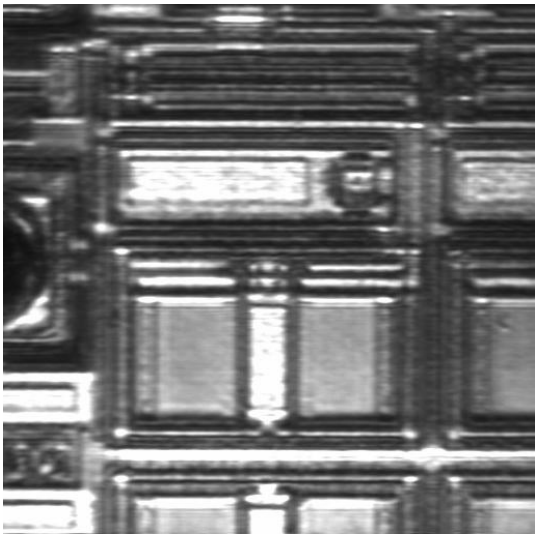


図　2-7：光学像

図　2-8：OBIC 像

第３章　　正常品サンプル作製

この章では本研究で行った正常品サンプル作製の手順について述べる

3.1 使用サンプル

本実験では東芝製汎用ロジック IC のインバータ回路 TC4069UBP(図 3-1)を使用した．TC4069UBP は 6 回路のインバータである．図 3-1 と図 3-2 のピン番号はそれぞれ対応しており VDD と VSS，各入出力を確認できる．OBIC 装置を使用する際には 14-7 ピンの VDD から VSS に電圧を印加することにより OBIC 像の観察を行った．

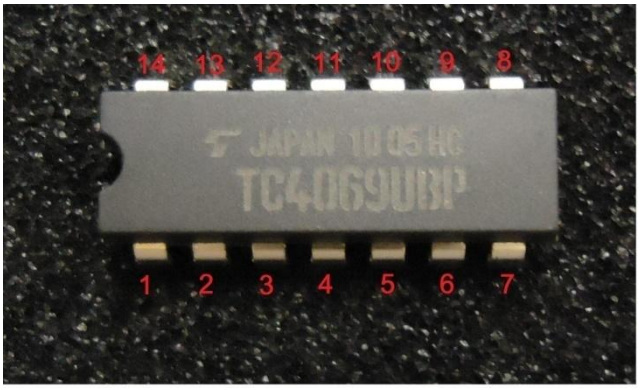


図　3-1：TC4069UBP

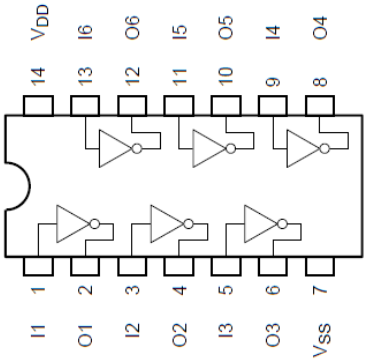


図　3-2：ピン接続図

3.2 薬品開封

本実験では LSI のチップを観察するために発煙硝酸を用いたパッケージ開封を行った．発煙硝酸の煙は有害であるため作業はドラフト装置内で行い，薬品を扱う際にはゴム手袋を使用した．

エッチングの際に使用した薬品は以下のとおりである．

発煙硝酸(3HNO)　　アセトン

発煙硝酸はパッケージを溶かす際に使用し，アセトンはパッケージを溶かした後の洗浄の為に使用した．

薬品エッチングを行う前には LSI に下処理を行う．その作業手順を以下に示す．

1.　LSI の表面をチップが露出しない程度に削る．
この作業は薬品エッチングする際に LSI を発煙硝酸に浸ける時間を短縮し，作業時間の短縮，チップや足へのダメージを最小限に軽減するために行う．
パッケージを削る際にはチップを傷つけないように削る深さに注意する．

図　3-3：処理後

2.　削ったサンプルをアルミテープでラッピングする
溶かしたいチップ上面以外の部分に発煙硝酸が入り込まないようにアルミテープで密閉する．ラッピングの際にはピンセットを使用し空気が入らないように包む，この際ピンセットで小さな穴を開けないように注意する．
ラッピングが完了したらチップ上の窪みにそってアルミテープをカットし，チップに穴を開ける．

図　3-4：ラッピング処理

ラッピング工程が終了すると薬品エッチングに入る．薬品エッチングの工程を以下に示す．

i. ドラフト装置の電源を入れファンを起動する．
ii. ヒーターの電源を入れ発煙硝酸を約 70 度に加熱する．これは発煙硝酸を加熱することでエッチングに最適な活性度にする為である．注意点としては発煙硝酸の温度が上がり過ぎないようにする．
iii. LSI を発煙硝酸に浸け込み，図 3-5 のようにパッケージの溶け具合を目で確認しながら待つ．
iv. チップを確認することができたらアルミを剥がし，図 3-6 のようにアセトンに浸け込み超音波洗浄機に数十分かけ洗浄を行う．洗浄が不十分だと溶けた樹脂がチップの表面にゴミとして残り観察の妨げとなる場合があるので注意する．

図 3-5：薬品処理

図 3-6：超音波洗浄機

図 3-7 はパッケージ開封が完了した LSI である．中央に金色のチップを確認することができる．

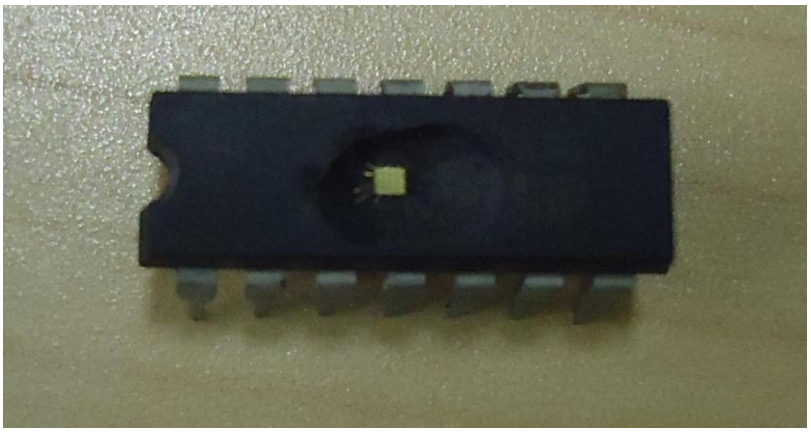


図 3-7 完成品

図 3-8 は開封した LSI のチップを光学顕微鏡で観察したもの．
表面に多少のゴミとパシベーション膜が残っているのが観察できる．

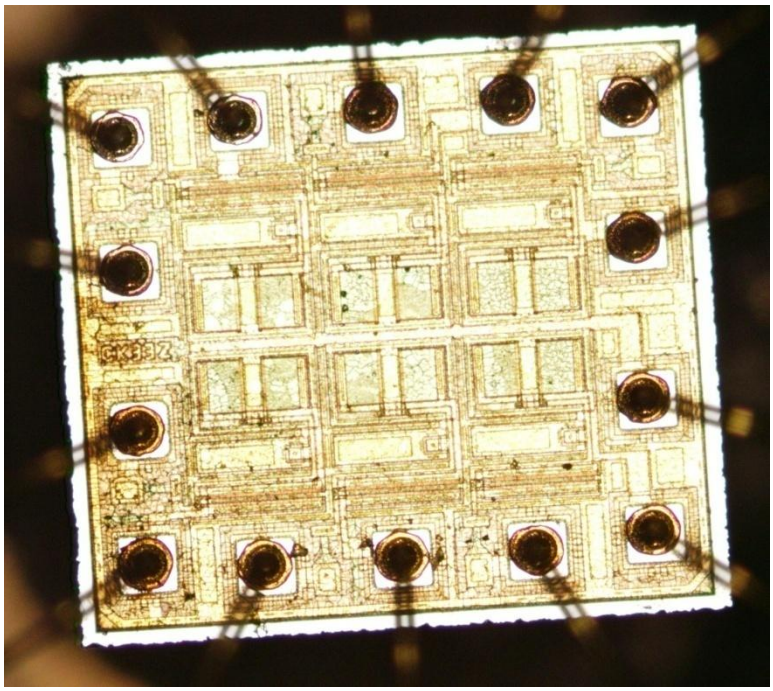


図　3-8：光学顕微鏡図

3.3 RIE

今回の実験ではチップ表面の観察を主とする．よってパシベーション膜が観察の妨げとなる場合がある．そのため RIE 装置によってパシベーション膜の除去を行った．基本的にポリミド膜の除去は行ったが，酸化膜は表面の見え方にあまり影響がない為必要に応じて除去を行った．

1.　RIE 装置

RIE(Reactive Ion Etching)装置はイオンエッチングを行うための装置である．イオンエッチングにはプラズマエッチングと反応性イオンエッチングがある．

プラズマエッチングとは、反応性ガスによる低温プラズマ中の活性化原子と供試体との化学反応により揮発性化合物を作り資料を加工する技術である．

反応性イオンエッチングとは、エッチングガスに電界を加えプラズマ化し，試料を置いてある陰極に高周波電圧を印加することにより，イオンやラジカルが試料方向に加速し衝突させエッチングを行う．

図　3-9：RIE 装置

図 3-9 は本実験で使用した RIE 装置である.
方式は平行平板型で等方性／異方性と両方式のエッチングが可能である.
使用可能ガスは CF4，SF6，CHF3，O2，N2，Ar の内 3 種類
本実験では CF4 と O2 のガスを使用し異方性のエッチングを行った.

表　3-1：エッチング条件(ポリミド膜)

真空度		180m/Torr
ガス流量	CF4	10sccm
	O2	30sccm
エッチングレート		5000Å/min

表 3-1 はポリミド膜を除去する際に使用したエッチング条件である.
取扱説明書に書いてある推奨エッチング条件を参考にし，ガス流量の比率を CF4：O2 = 1：3 として、上記の条件で約 7 分間のエッチングを行った.

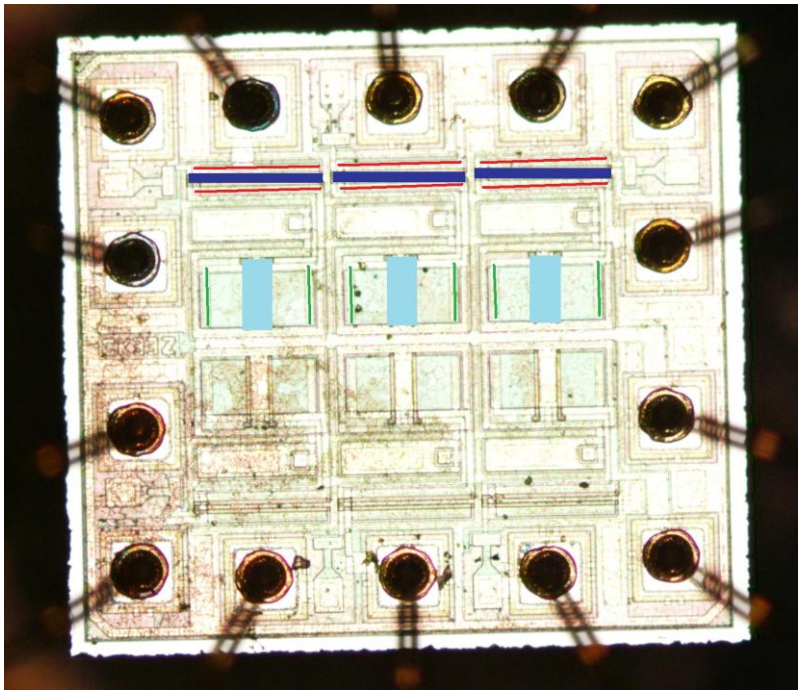


図　3-10：ポリミド膜除去サンプル

図 3-10 は図 3-9 のサンプルを RIE 装置にかけポリミド膜を除去したものである．多少ゴミが表面に出てしまっており、左下の面はエッチングが深すぎて酸化膜まで及び多少赤みがかっているが、ポリミド膜が無くなったことで RIE にかける前よりも表面をクリア見ることが出来る．
図 3-10 の赤線を引いている部分は Pch トランジスタ，青色の線はゲート
緑線を引いている部分は Nch トランジスタ，水色の線を引いている部分にゲートがあり，下面も対象に同じ構成となっている．

表　3-2：エッチング条件(酸化膜)

真空度		180mTorr
ガス流量	CF4	30sccm
	O2	15sccm
エッチングレート		1000Å/min

表 3-2 は酸化膜を除去する際に使用したエッチング条件である．
こちらも取扱説明書の推奨エッチング条件を参考のもと，上記の条件で約 5 分間のエッチングを行った．

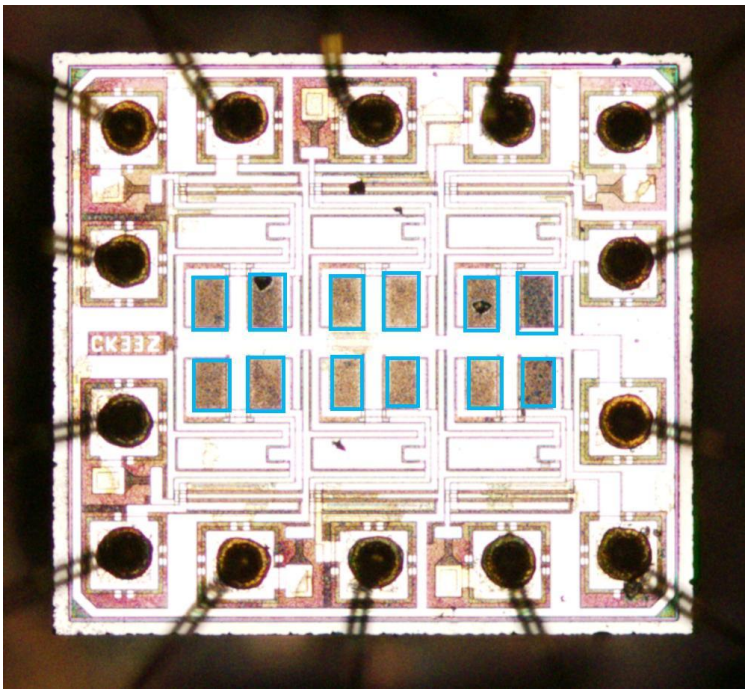


図　3-11：酸化膜除去サンプル

図 3-11 は上記の設定で酸化膜を除去したものである．図 3-10，3-8 のサンプルとは異なるが、サンプルは TC4069UBP のインバータである．RIE のかけ過ぎで青色の四角で囲んでいる拡散層がダメージを受け黒味がかってしまっていることがわか

3.4 動作確認

薬品エッチングや RIE の工程の次に LSI の動作確認を行った．これは薬品エッチングや RIE の工程でチップにダメージが及んでいる可能性があるためだ．図 3-12 の半導体パラメータアナライザ装置を使用し、電源電流(IDD)の測定を行った．この装置は SUM(ソース/モニタユニット)から電圧・電流の測定及び供給をすることができる. 半導体パラメータアナライザは Visual BASIC を使用し作成された自動制御用プログラムを使うことによって PC から制御することが可能である．

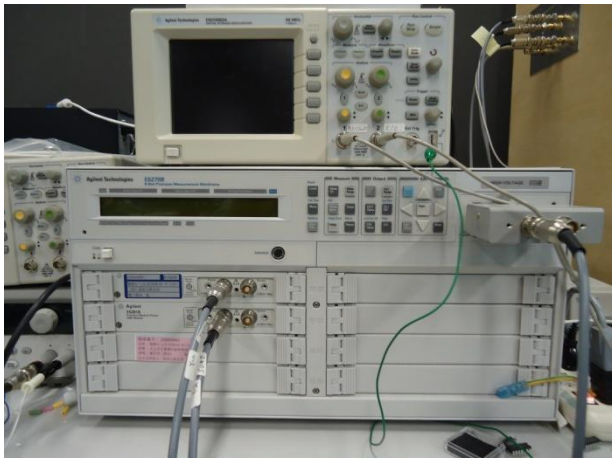


図 3-12：半導体パラメータアナライザ(下)
オシロスコープ(上)

測定の際には図 3-12 のように SUM1 を VDD, SUM2 を入力に繋げ使用し, LSI と半導体パラメータアナライザの接続には図 3-13 のような治具を使用した．

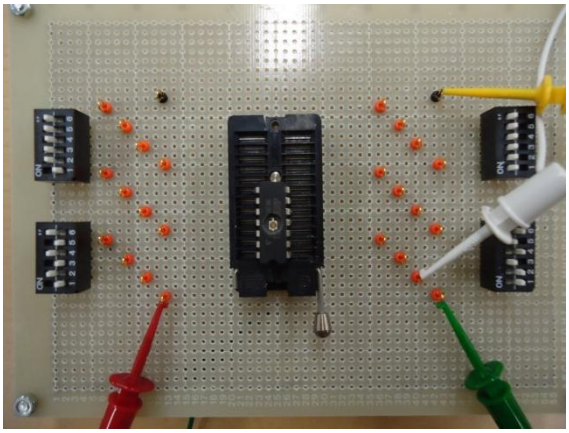


図 3-13：治具

治具には図 3-13 のように LSI が設置される. ディップスイッチと LSI の足は対応しており，図 3-13 でみると赤いテストクリップは VDD，緑のテストクリップは入力，白のテストクリップは出力，黄色いテストクリップは GND に繋がっていることがわかる.
図 3-14 は全体的な接続構成を表したものである

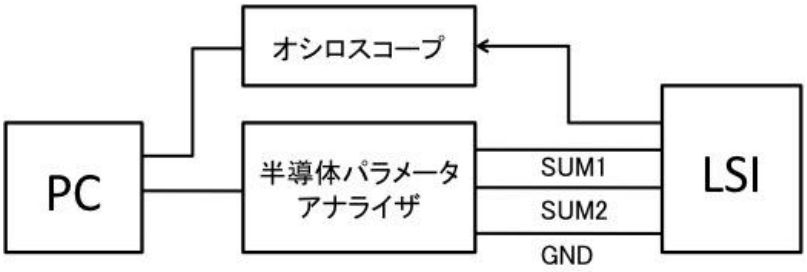


図　3-14：接続構成

図 3-15 は作成したサンプルの VDD から GND を流れる電流値(IDD)を測定したものである. VDD は 3V で，入力(Vin)を 0 から 3V まで変動させ IDD 値の変動をまとめたものである.

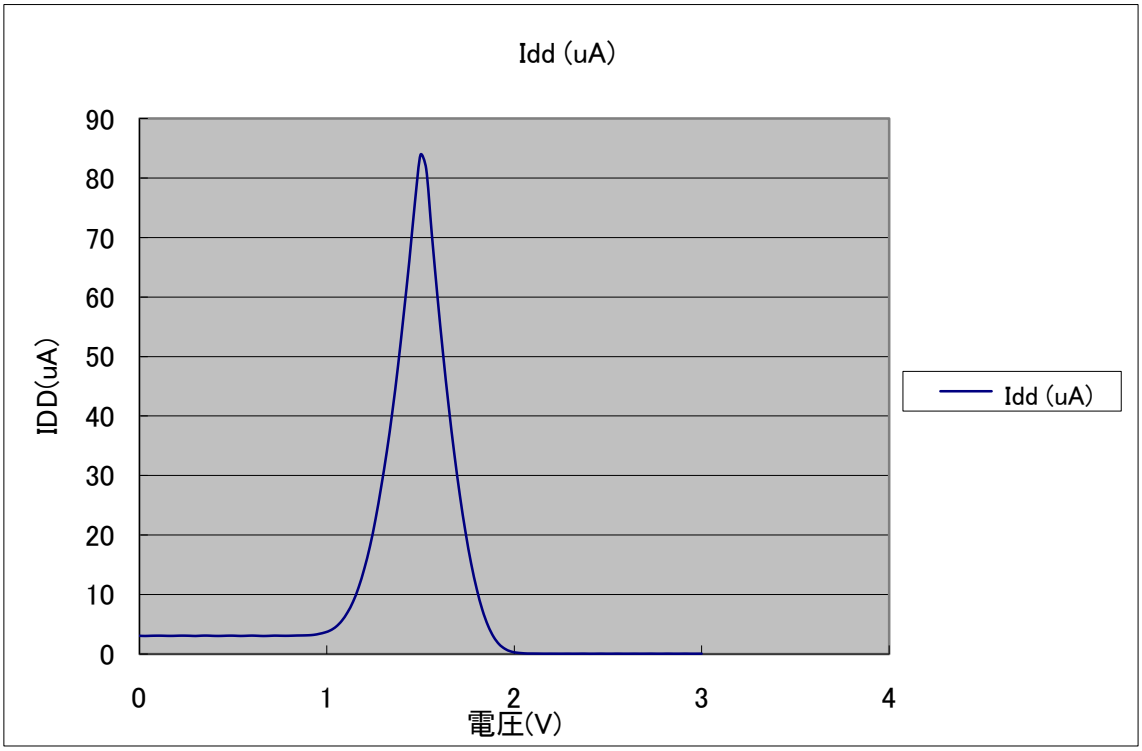


図　3-15：Vin-IDD 特性

図 3-15 の波形は正常なインバータとほぼ同じ波形を示しており正常に動作していると言える.

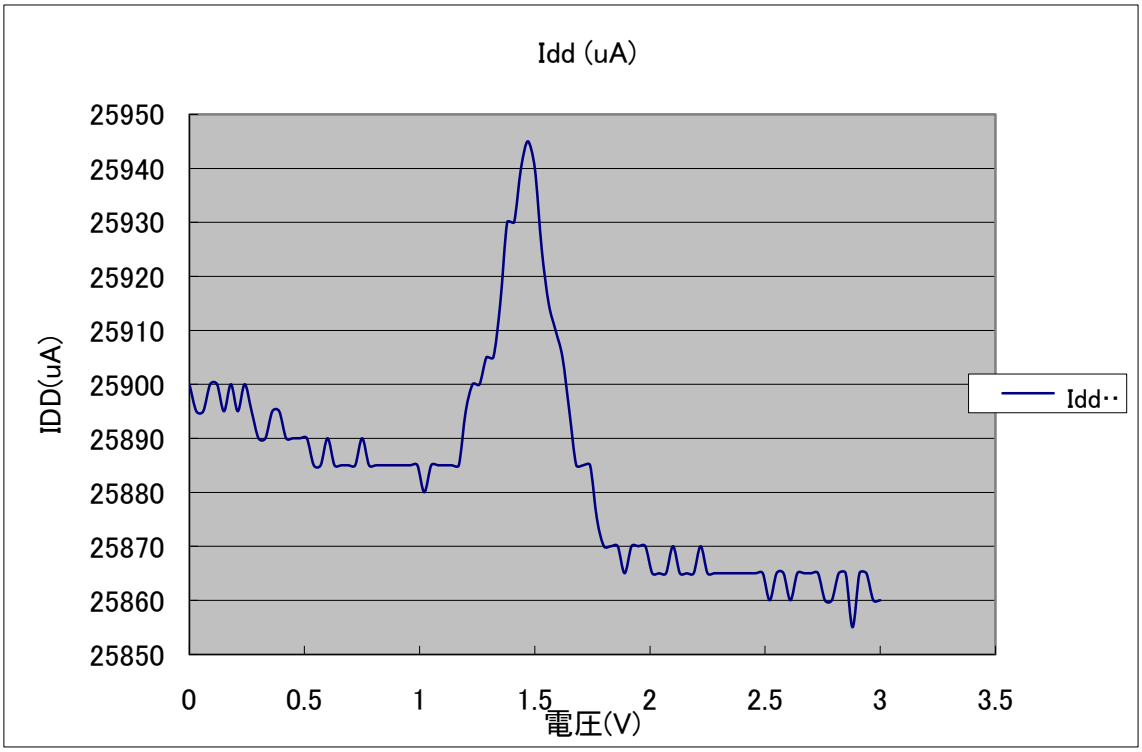


図　3-16：Vin-IDD 特性

図 3-16 は ESD 破壊試験装置にかけたサンプルの Vin-IDD 特性を同じ条件で測定したものである．異常な IDD 電流が流れ波形が乱れており故障していることがわかる.

以上までの工程で正常サンプルの作成が完了となる.

第４章　　故障品サンプル作製

この章では本研究で行った故障品サンプル作製の手順について述べる

正常品サンプルの作成工程が完了したら故障の作り込みを行い，今回の実験では４パターンの故障の作り込みを行った．作成手順について以下に示す．

4.1 スタンガンによる過電圧印加

一つ目のサンプルでは，スタンガによって故障を作り込んだ．

図　4-1：スタンガン(仮)

図 4-1 は実際に使用したスタンガンである．スタンガンはラムエンタープライズ株式会社製の BLACK EAGLE を使用した．出力電圧は 10 万 V である．
スタンガンは図 4-2 のようなかたちでサンプルに当てた

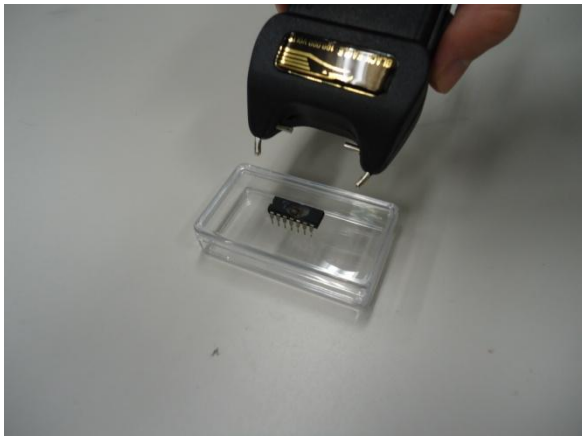


図　4-2：実験図

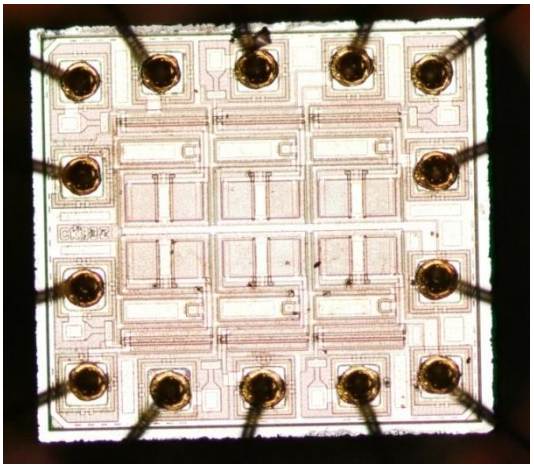


図 4-3：スタンガン前

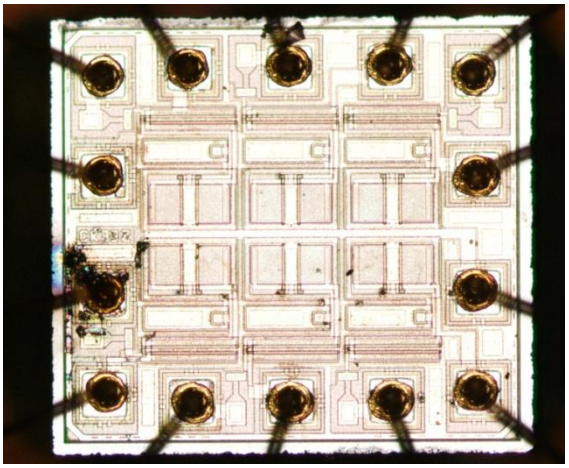


図 4-4：スタンガン後

図 4-3 はスタンガンをかける前のチップ表面を光学顕微鏡で見たものである．図 4-4 は同じサンプルにスタンガンを当てたものを光学顕微鏡で見たものである．

図 4-6 は 1 ピンの周辺を拡大したものである．ボンディング周辺が激しくダメージを受けていることがわかる．しかし，その他のピンに関しては目立ったダメージは確認できなかった．このことから，1 ピンの足のメタルがアースとなりチップに入った電圧を地面に逃がしたと考えられる．

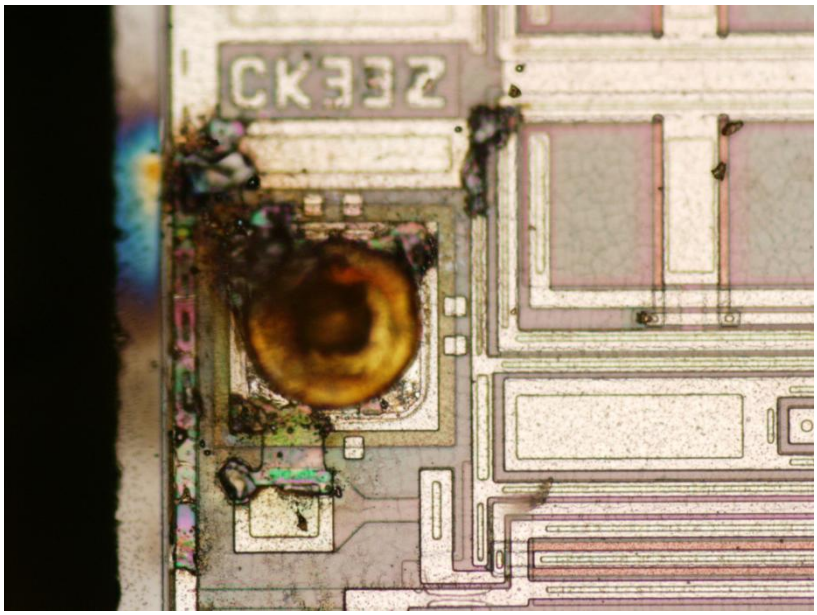


図 4-5：破壊箇所

4.2 ESD 破壊試験装置による静電破壊

二つ目のサンプルは ESD 破壊試験装置により故障を作り込んだ.

ESD（Electro-Static-Discharge）とは静電気放電のことを言う. ESD が要因となって起こる破壊を ESD 破壊と呼び, デバイス内部の破壊が故障や誤動作などを発生させる. ESD 破壊をシミュレートする際には ESD 破壊モデルを用いる. ESD 破壊モデルは ESD の発生要因をモデル化したものである. ESD 破壊モデルの基本構造は直列接続した抵抗 R とコンデンサ C から構成されている.
発生要因に合わせて人体帯電モデル, マシン帯電モデル, デバイス帯電モデルの 3 種に分類することが出来る.

(i)人体帯電モデル
人体帯電は帯電した人がデバイス端子に触れることでデバイスが帯電し, デバイスが接地された際に発生する ESD 破壊をモデルとしたものである. このモデルを構成している抵抗, コンデンサの値は人の皮膚抵抗及び静電容量に従って設定されており, このモデルを使用した際の印加電圧は 2kV から 5kV と設定されている.

(ii)マシン帯電モデル
マシン帯電モデルは帯電した金属や装置がデバイス端子に触れることでデバイスが帯電し, デバイスが接地された際に発生する ESD 破壊をモデルとしたものであり, このモデルの構成はコンデンサのみとなる. それは抵抗に関しては放電が金属同士のため 0Ω と考えている為である. このモデルを使用した際の印加電圧は 300V から 500V と設定されている.
(iii)デバイス帯電モデル

デバイス帯電モデルはデバイス本体が摩擦等によって帯電し, デバイスが接地された際に発生する ESD 破壊をモデルとしたものである. このモデルの構成は抵抗とコンデンサからなり, このモデルを使用した際の印加電圧は 1kV から 10kV と設定されている.

図 4-7 は今回の実験で使用した ESD 破壊試験装置である．この装置は研究室で開発を行っている装置であり，現段階ではまだ開発途中である．

図　4-6：ESD 破壊試験装置

図 4-8 は ESD 破壊試験装置の内部にある LSI 挿入ソケットである．電圧を印加する際にはテスト側と書いているソケットにサンプルの LSI を挿入する．今回の実験では IC の 3-4 ピン間に電圧を印加し ESD 破壊サンプルを作成した．

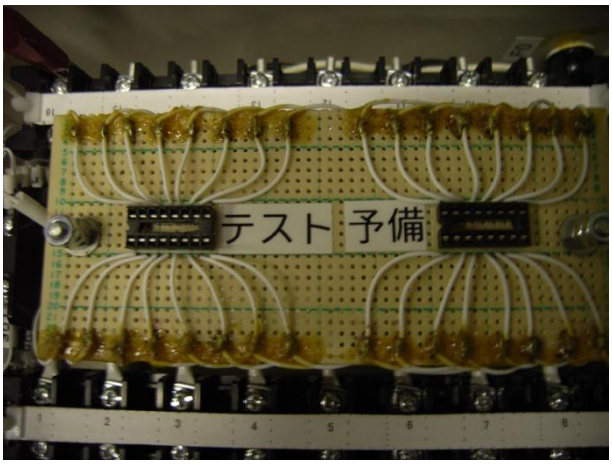


図　4-7：LSI 挿入ソケット

本実験では人体帯電モデルを使用した．先ほど説明したとおり人体帯電モデルを構成している抵抗とコンデンサは，人体の皮膚抵抗と静電容量に従って設定

されている．印加電圧は 3000V となる．

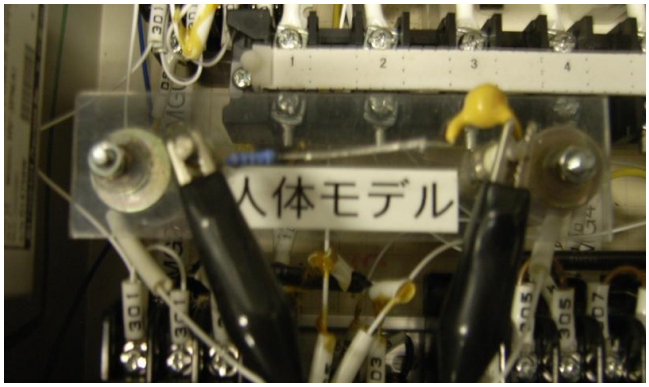


図　4-8：人体帯電モデル

図 4-9 は ESD で破壊したサンプルを光学顕微鏡で観察したものある．今回のサンプルについては RIE によるエッチング作業によって，ESD 破壊の特性が変化する恐れがあるためポリミド膜の除去は行っていない．

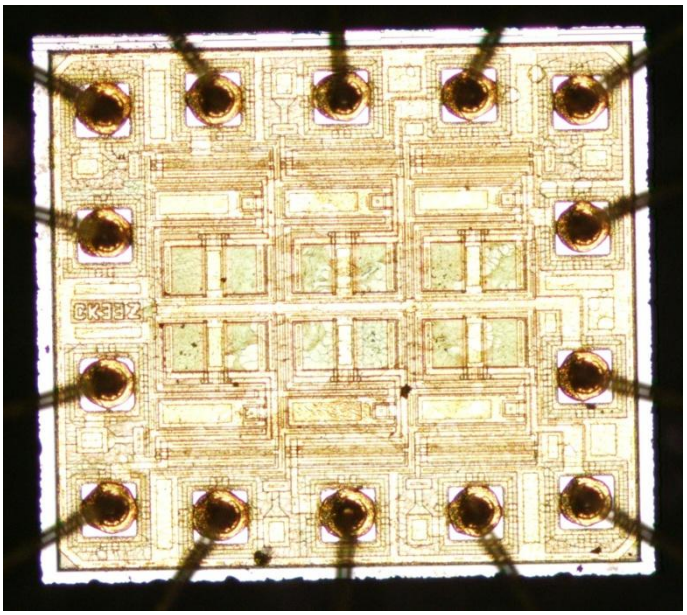


図　4-9：ESD 破壊サンプル

図 4-10 は電圧を印加した 3-4 ピン間周辺の倍率を上げて観察したものである．ESD 破壊では入出力共にスタンガン破壊実験の時のような目立った破壊は確認することができなかった．

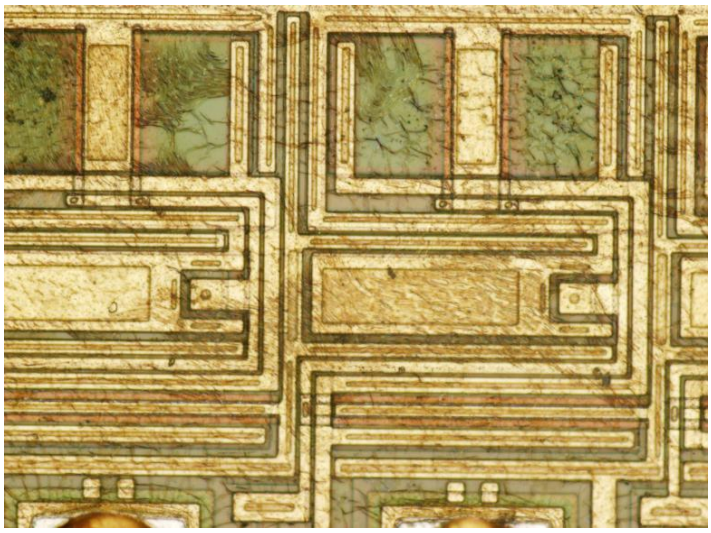


図　4-10：ESD 破壊サンプル

4.3 YAG レーザによるジャンクション破壊

三つ目の破壊はYAG レーザによるジャンクション破壊及びピンホール破壊の作成を行った.

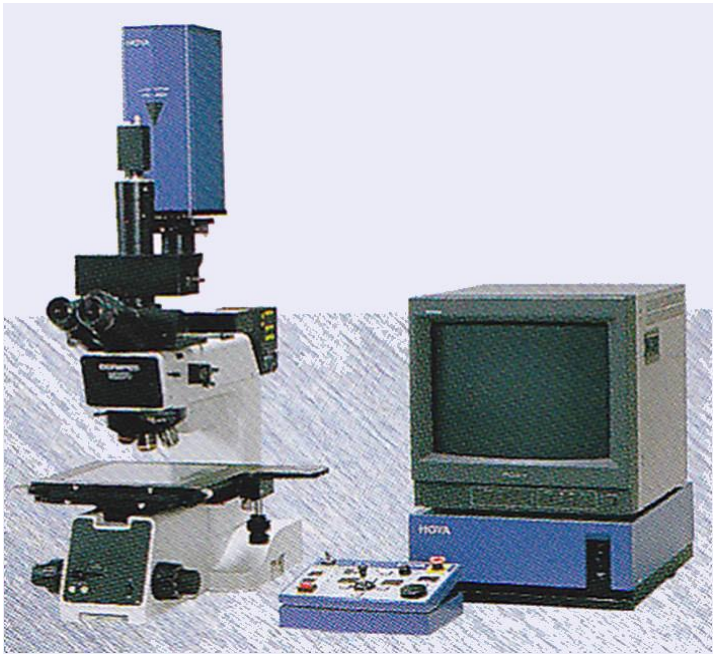


図　4-11

図 4-11 は本実験で使用した YAG レーザである. 使用したレーザは YAG の第二高調波で発振波長は 532nm，最小加工径は 1μm となっている.

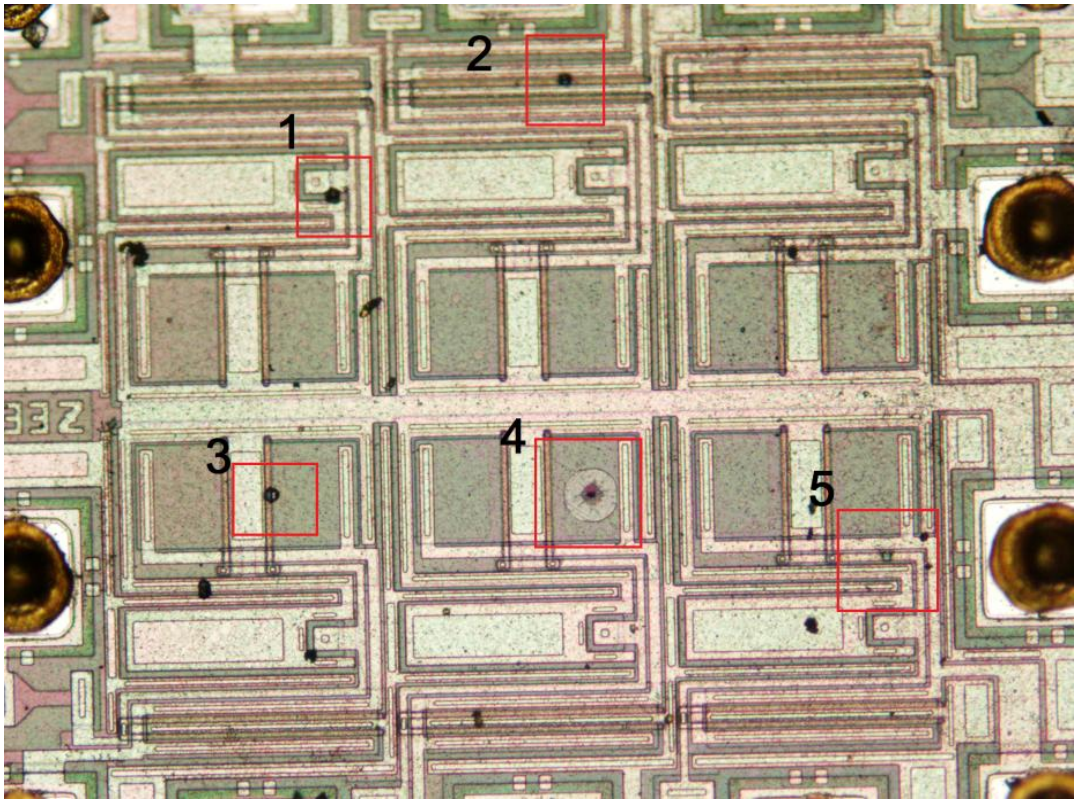


図　4-12：YAG レーザ破壊サンプル 1

図 4-12 は YAG レーザで故障を作り込んだサンプルの内のひとつである.
6 あるインバータ回路のうち 5 つに故障を作り, ひとつは正常な回路として残した.

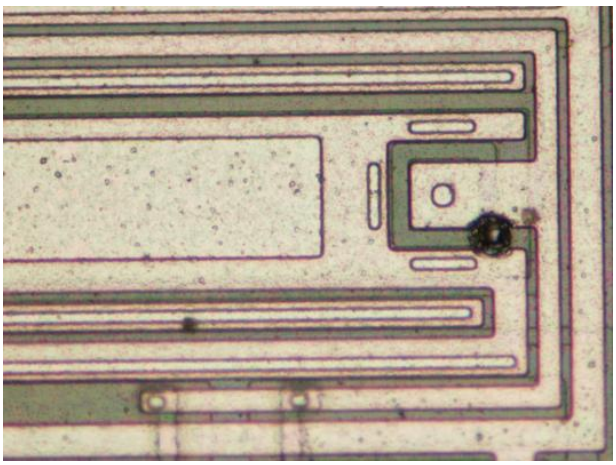


図　4-13：破壊箇所 1

図 4-13 は図 4-12 の 1 の破壊箇所を拡大したものである. 保護回路より PN 接合面にレーザを照射した.

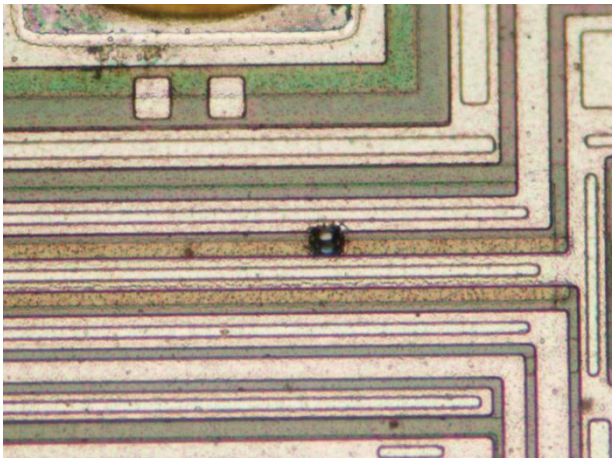


図 4-14 は図 4-12 の 2 の破壊箇所を拡大したものである．Pch のゲート側面より PN 接合にレーザを照射した.

図 4-14：破壊箇所 2

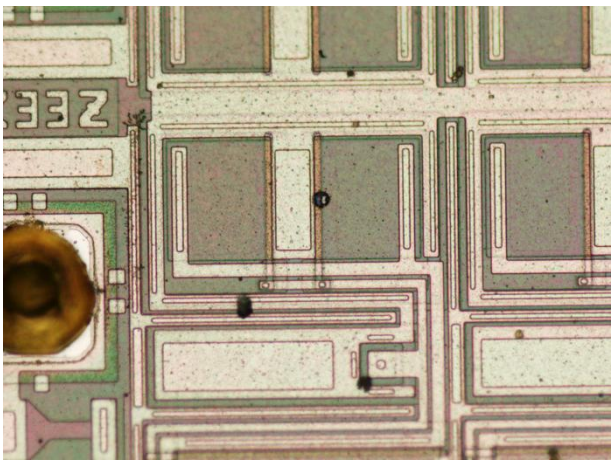


図 4-15 は図 4-12 の 3 の破壊箇所を拡大したものである．Nch ゲート側面より PN 接合にレーザを照射した.

図 4-15：破壊箇所 3

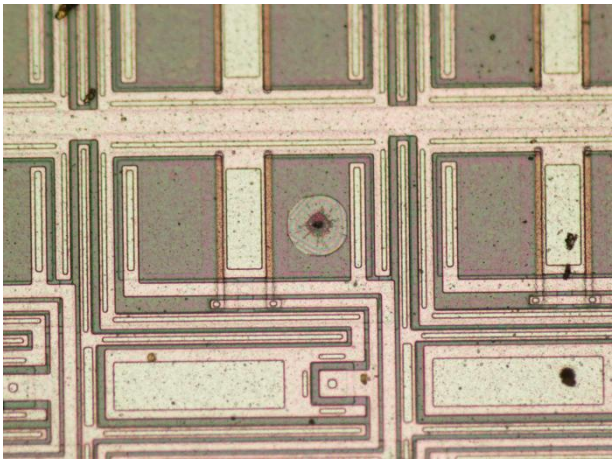


図 4-16 は図 4-12 の 4 の破壊箇所を拡大したものである. 拡散層より PN 接合面に向けレーザを照射した.

図 4-16：破壊箇所 4

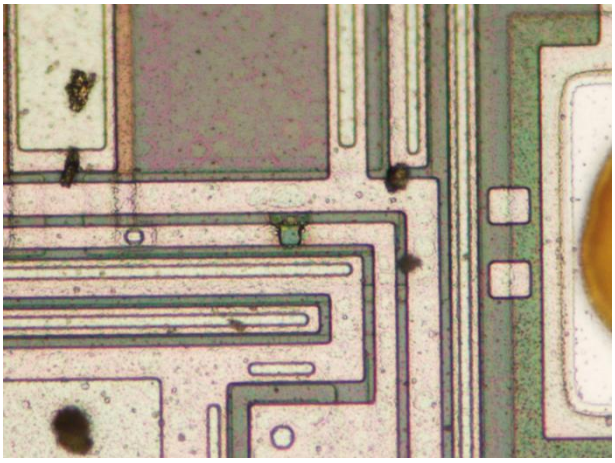


図 4-17 は図 4-12 の 5 の破壊箇所を拡大したものである. 配線にレーザを照射し，Nch にゲートオープンを作った.

図 4-17：破壊箇所 5

以上がサンプル 1 に対して施したレーザ処理である．同じようにサンプル 2 に対しても YAG レーザによって故障を作製した.

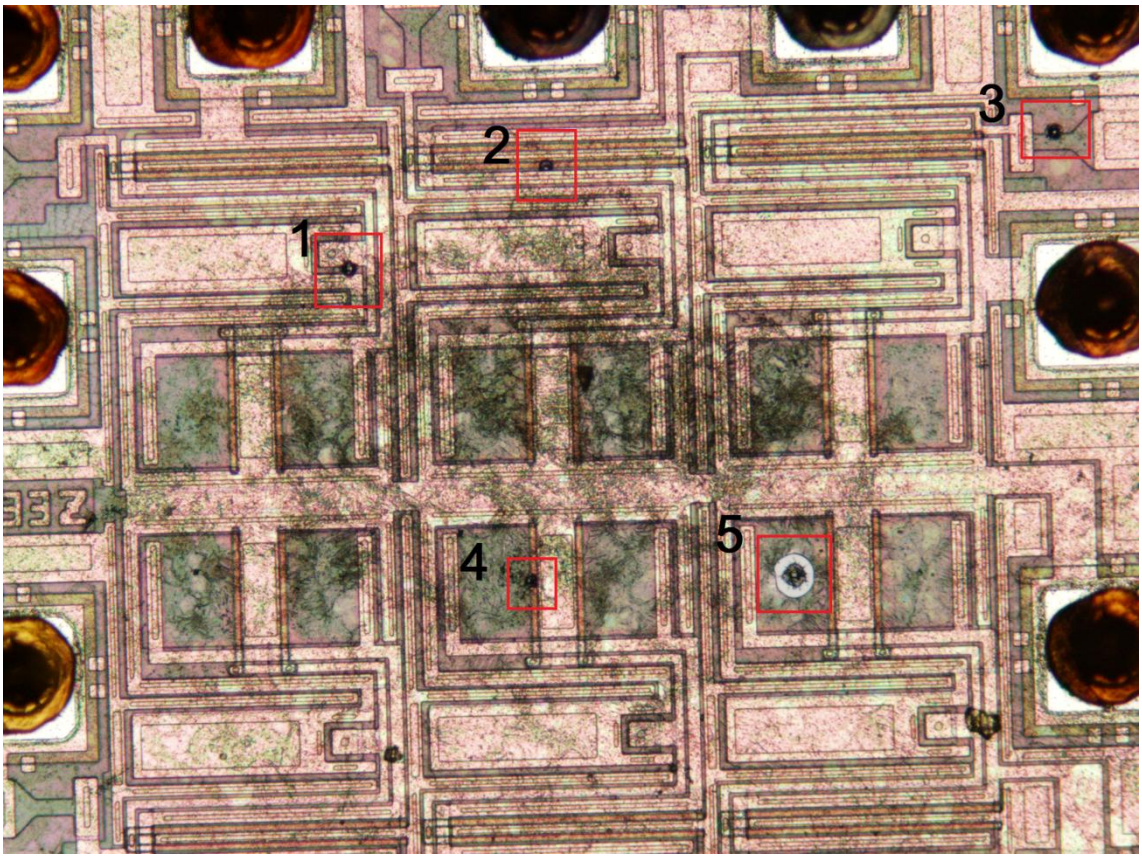


図 4-18：YAG レーザ破壊サンプル 2

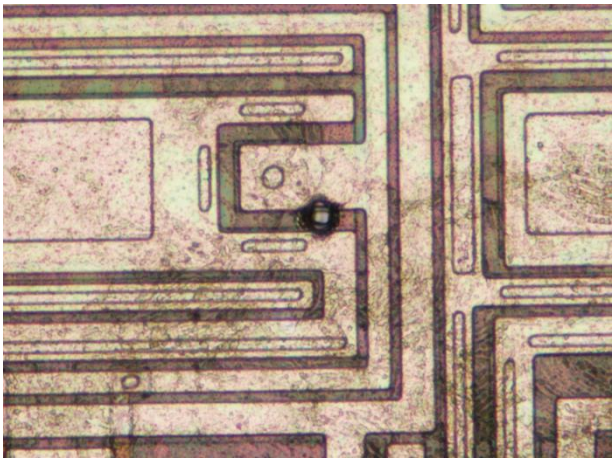


図 4-19 は図 4-18 の 1 の破壊箇所を拡大したものである. 保護回路より PN 接合面にレーザを照射した.

図 4-19：破壊箇所 1

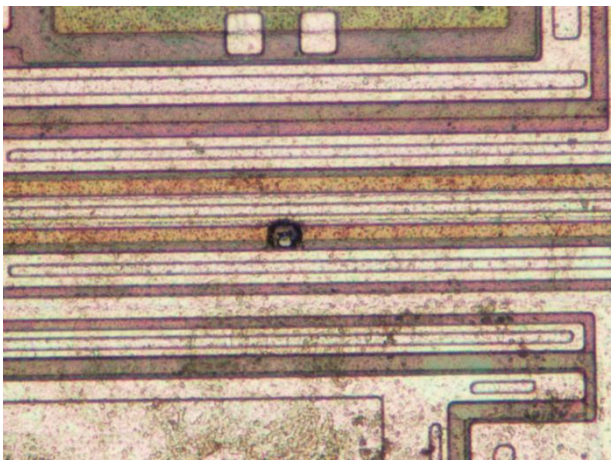


図 4-20 は図 4-18 の 2 の破壊箇所を拡大したものである. Pch ゲート側面より PN 接合にレーザを照射した.

図 4-20：破壊箇所 2

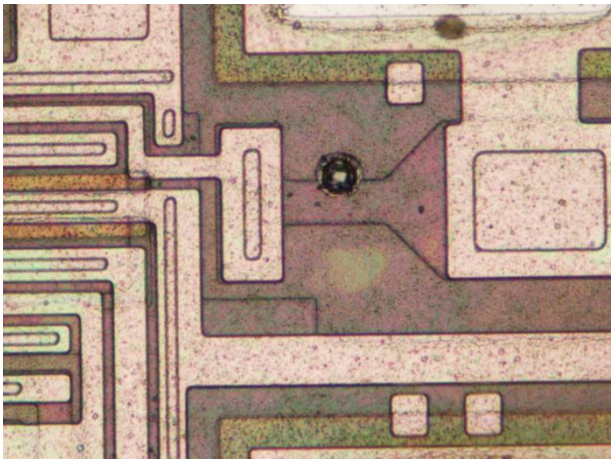


図 4-21 は図 4-18 の 3 の破壊箇所を拡大したものである. 9 ピン入力の保護回路側面より PN 接合にレーザを照射した.

図 4-21：故障個所 3

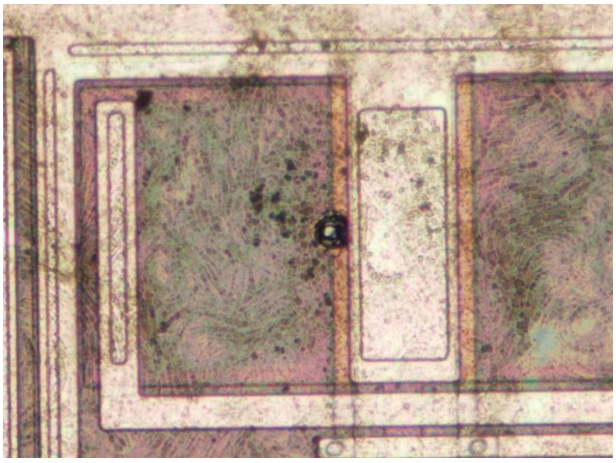


図 4-22 は図 4-18 の 4 の破壊箇所を拡大したものである．Nch ゲート側面より PN 接合にレーザを照射した.

図 4-22：破壊箇所 4

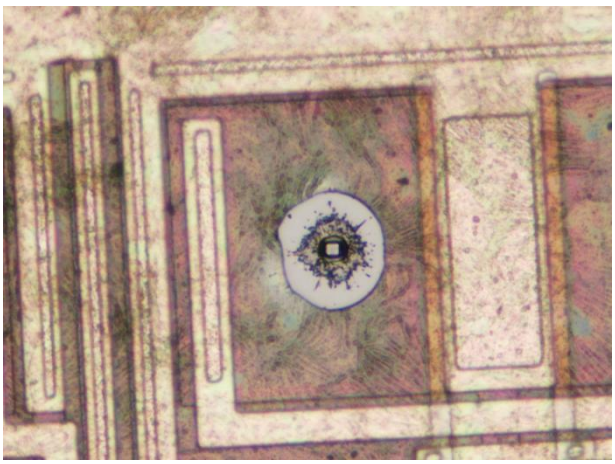


図 4-23 は図 4-18 の 5 の破壊箇所を拡大したものである. 拡散層より PN 接合面に向けレーザを照射した.

図 4-23：破壊箇所 5

YAG レーザでの破壊はふたつのサンプルでジャンクション破壊を 7 箇所，ピンホール破壊を 2 箇所, 配線オープンを 1 箇所の計 10 箇所に故障の作り込みを行った.

以上の工程で故障サンプルの作成が完了となる.

第５章　　OBIC 装置による解析

この章では第 4 章で作成した故障サンプルを OBIC 装置で解析した結果を述べる

第 3 章で作成した正常サンプルと第 4 章で作成した故障サンプルの OBIC 像を比較することにより故障箇所の特定を行った．まずは比較の為に正常サンプルの観察から行う．図 5-1 は正常品を倍率 90 倍で観察したものである．図 5-2 は図 5-1 と同じサンプルの一部を倍率 360 倍で拡大したものである．

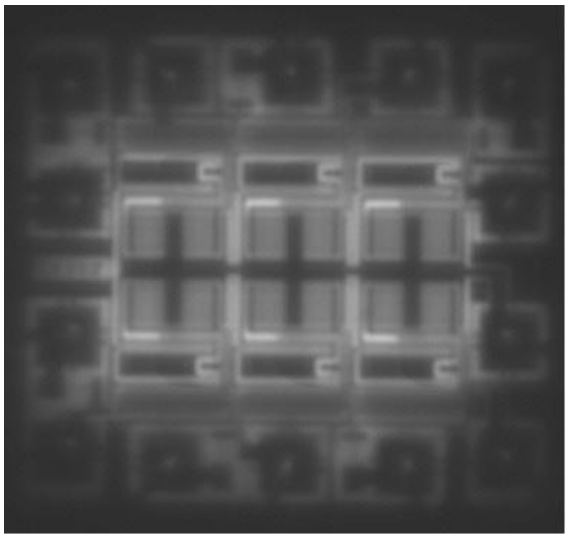


図　5-1：正常サンプル

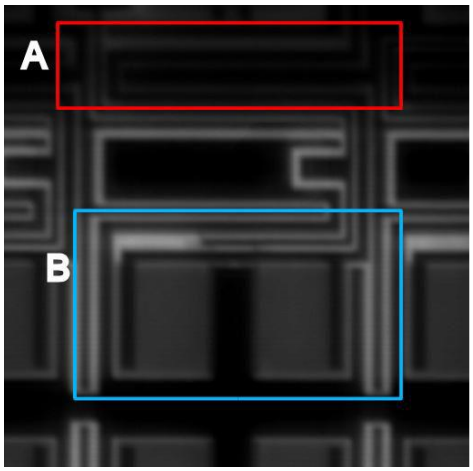


図　5-2：拡大図

図 5-1 では確認し難いが，図 5-2 を見てみると Pch 領域(A 赤い四角)と Nch 領

域(B 水色の四角)ではコントラストに違いが見える．この現象は他 5 つの回路全てに確認することができた. OBIC 像は光電流を増幅し輝度として可視化している．このことから Pch と Nch では光電流の発生量に差があることがわかる．

次に故障サンプルの観察を行った．

5.1　スタンガン破壊サンプル

図 5-3 はスタンガンで破壊したサンプルの OBIC 像の全体像である．倍率 360 倍の OBIC 像を張り合わせて作成したものなので多少のずれとコントラストにむらがあるが，やはり激しくダメージを受けていた 1 ピン付近の OBIC 像は正常サンプルの OBIC 像と大きな違いがあることがわかる．

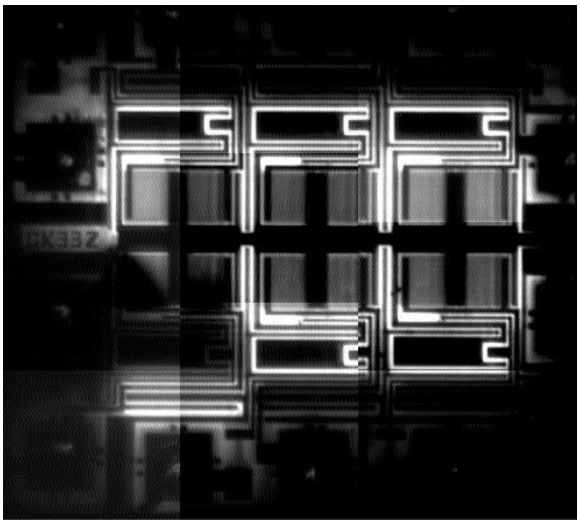


図　5-3：スタンガンサンプル

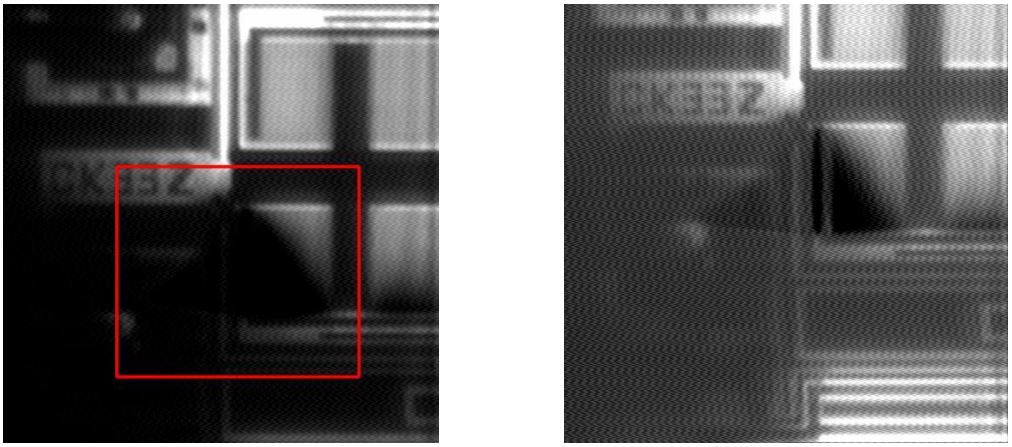


図　5-4：故障個所 1

図 5-4 は第 4 章図 4-5 の破壊箇所付近を OBIC 像で観察したものである．赤色で囲んでいるように，入力から拡散層にかけて三角形の影が発生していることがわかる．右の図は影が観察しやすいように強調したものである．図 5-5 は図 5-4 の箇所にポイントを合わせた光学顕微鏡図である．OBIC 像では入力から拡散層にかけて異常が発生しているが，光学顕微鏡では拡散層上にはダメージを確認することができず，内部で故障が起きていることが考えられる．

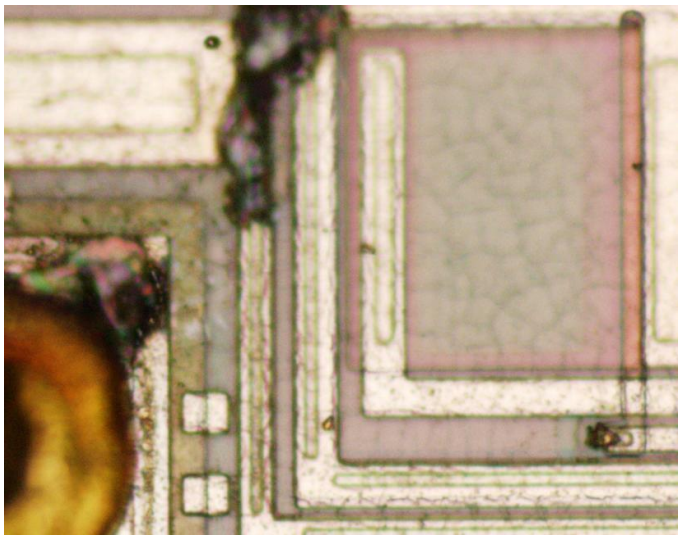


図　5-5：光学顕微鏡図

さらに別の故障箇所を発見することができたので次にそれを示す．

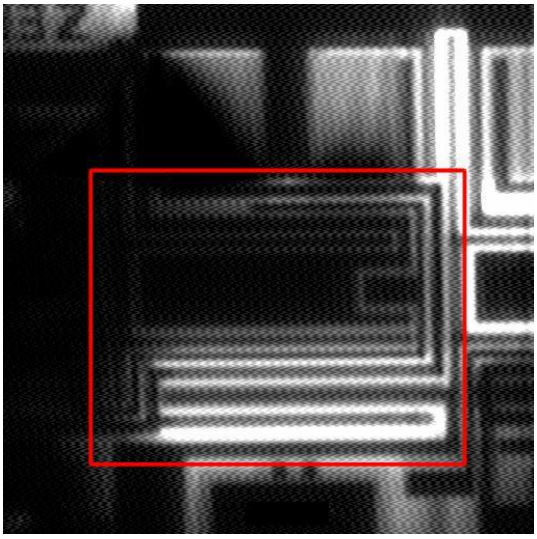


図　5-6：1-2 間回路

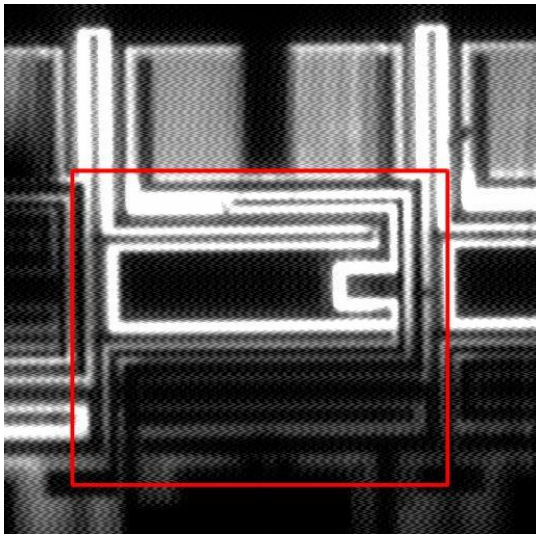


図　5-7：3-4 間回路

図 5-6 はスタンガンによってダメージが生じた 1-2 ピン間の回路の OBIC 像で図 5-7 は同じサンプルの 3-4 ピン間の回路の OBIC 像である．ちなみに図 5-3 の全体像ではコントラストに違いがあるように見えるが，実際の観察では 3-4 ピン間の回路は他 4 つの回路と共に良品サンプルと同じ OBIC 像を示した．
図 5-6 と図 5-7 を見てみると，1-2 ピン間の回路は正常な回路に比べ明らかに Pch 領域での光電流の発生量が増加していることがわかる．逆に保護回路付近での光電流の発生量が低下している．過電圧による保護回路の故障が Pch での光電流の過剰発生の原因と考えられる．

以上ふたつが発見することができた故障である．
今回のサンプルではさらに内部にどの程度までダメージが及んでいるか観察できないかと考え，フッ素酸化物による処理を行い基板の観察を行った．
図 5-8 はフッ酸に浸け込んだことにより基板だけになったサンプルである．各部分に色が付いて見えるのは，残った酸化膜の厚さの差により生じたものだと考えられる．

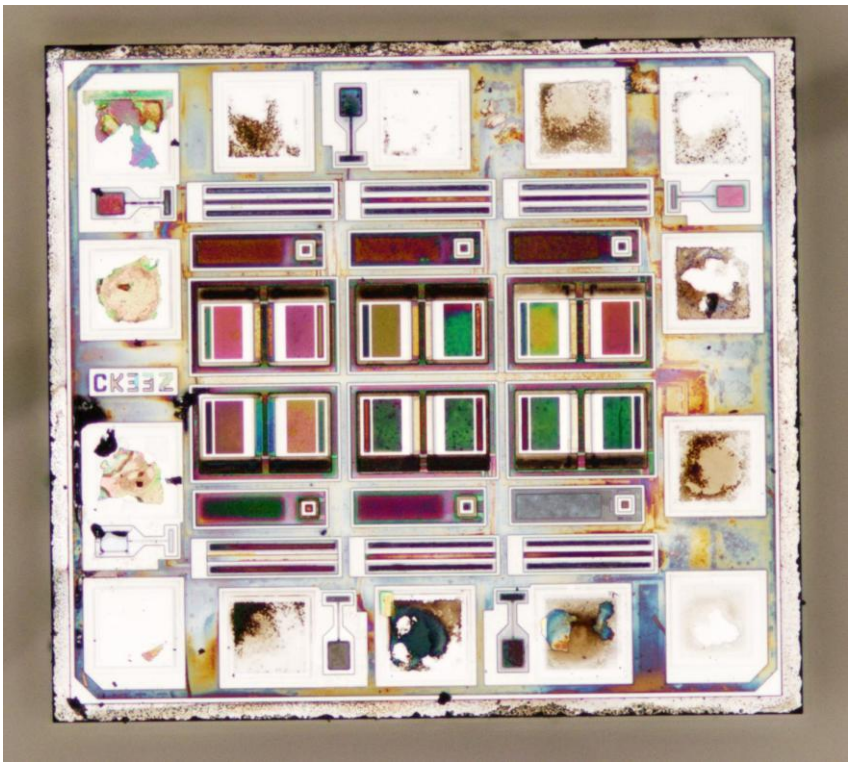


図 5-8：フッ酸処理後

図　5-9：入力付近

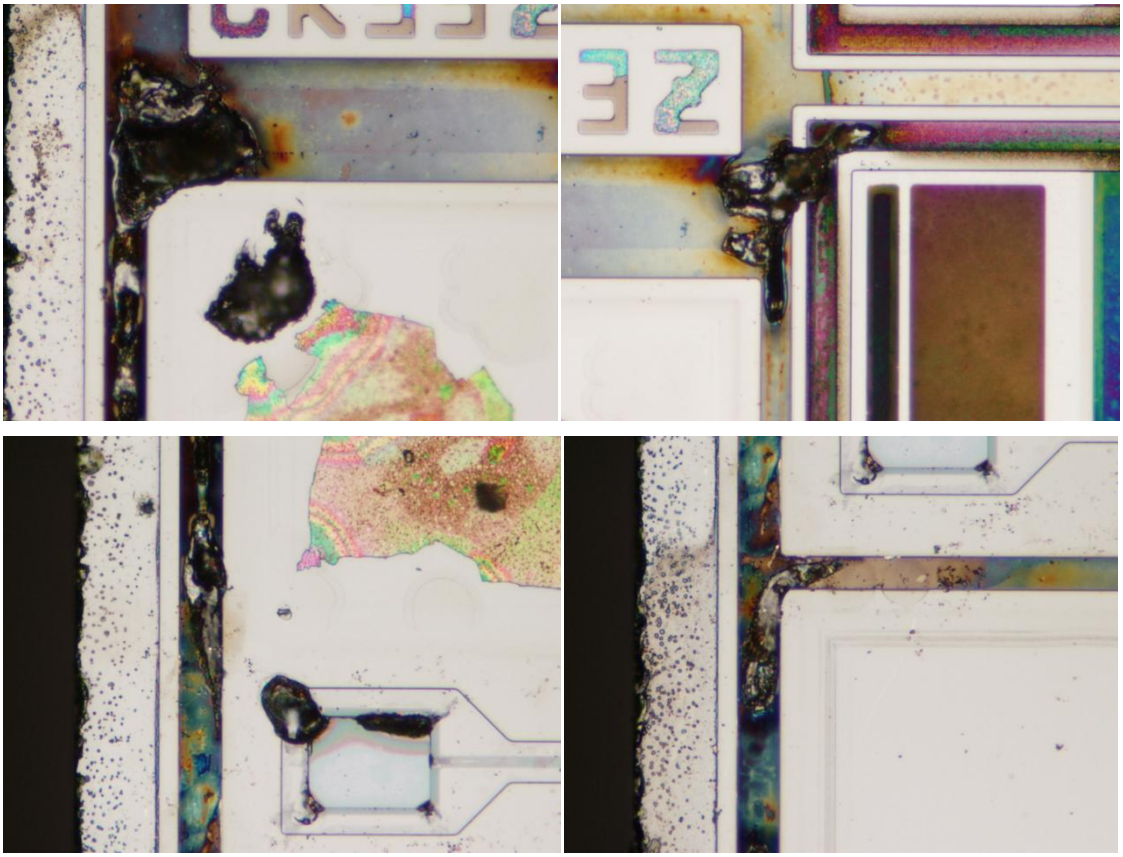


図　5-10：拡大図

図 5-9，図 5-10 を見てわかるようにスタンガンによる過電圧のダメージは深く基板にまで及んでいる．

5.2　ESD 破壊サンプル

ESD 破壊では 3-4 ピン間にかけて電圧印加を行った．そのため OBIC 像の観察も 3-4 ピン間の回路に注目して行った．

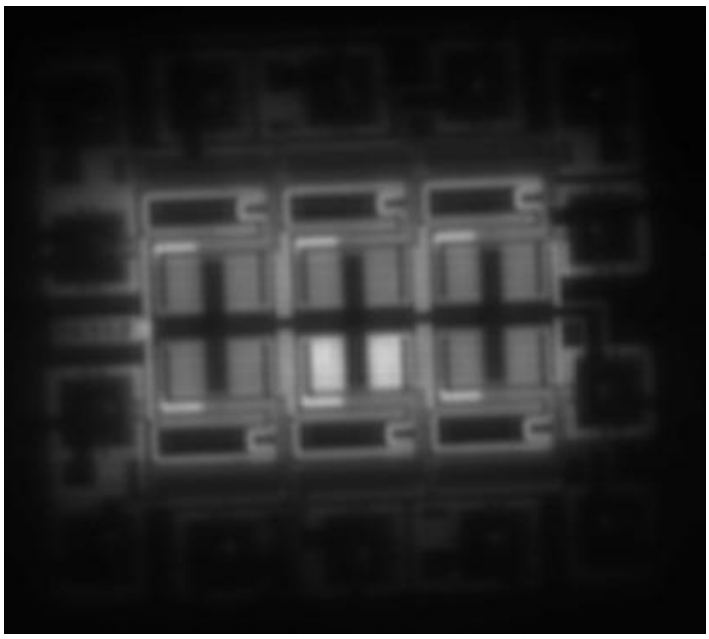


図　5-11：ESD 全体像

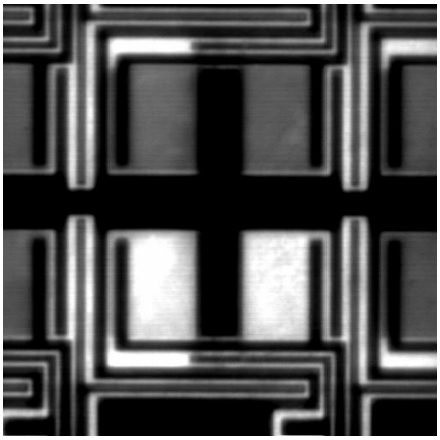


図　5-12：ESD 故障個所，0[V]印加

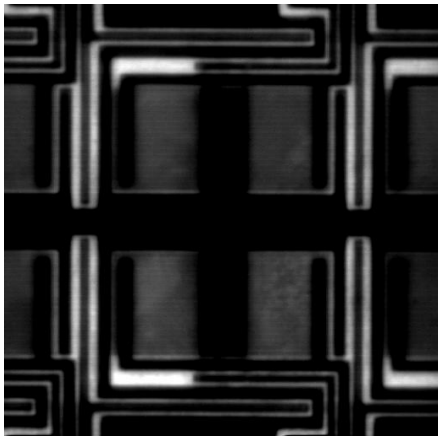
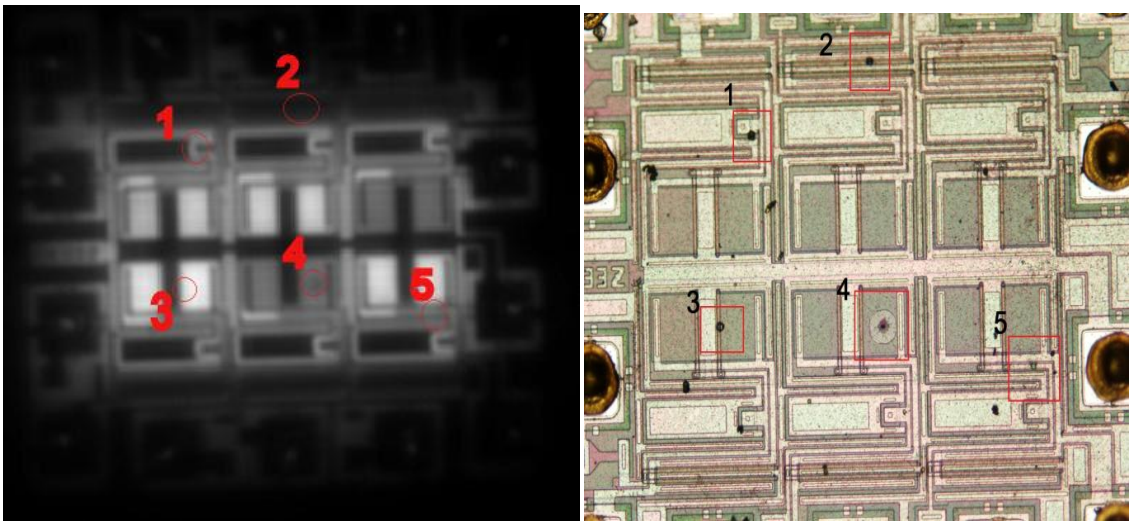


図　5-13：ESD 故障箇所，0.28[V] 印加

図 5-11 は ESD 破壊サンプルの OBIC 像を倍率 90 倍でとらえた全体像である．ESD 破壊を行った 3-4 ピン間の拡散層に異常がある事が確認出来る．図 5-12 は電圧を印加していない状態の故障個所である．VDD にかける電圧を増加させていくと図 5-13 のように 0.28V 付近で正常品とほぼ同じようなコントラストとなった．

5.3　YAG レーザ破壊サンプル 1



(i)：OBIC 像　　(ii)光学顕微鏡

図　5-14：全体像

図 5-14(i)は(ii)を倍率 90 倍で見た OBIC 像である．右上の回路は故障を作り込んでいない正常品で，他の回路には YAG レーザで何らかの処理を行っている．全体像で見た限りでも，ピンホール以外の故障作成箇所では拡散層に異常な光電流が発生していることがわかる．

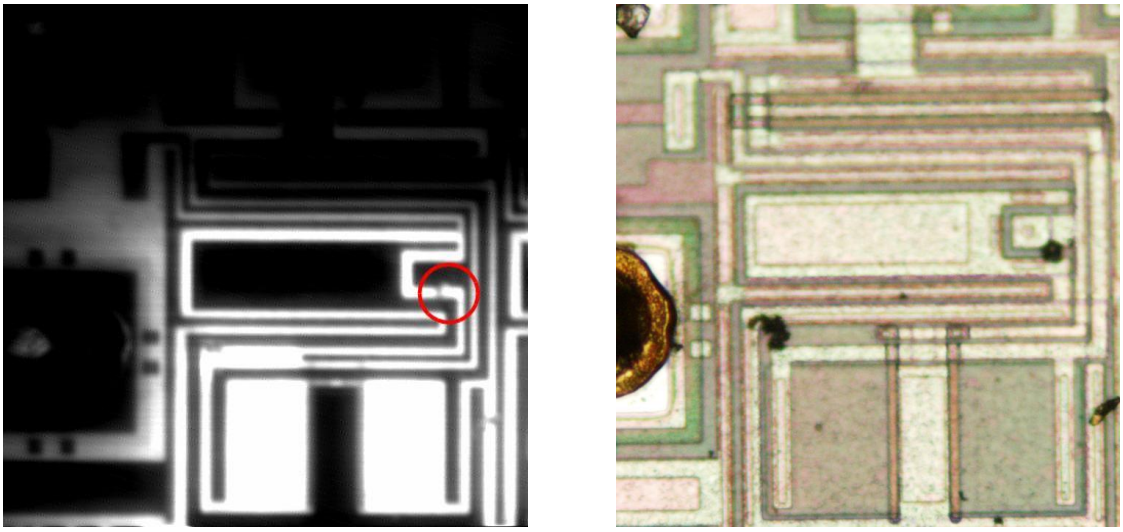


図　5-15：故障個所 1

図 5-15 は保護回路よりジャンクションを破壊した故障個所で，赤丸がレーザ照射箇所である．OBIC 像を見ると拡散層に過剰な電流が流れていることがわかる．

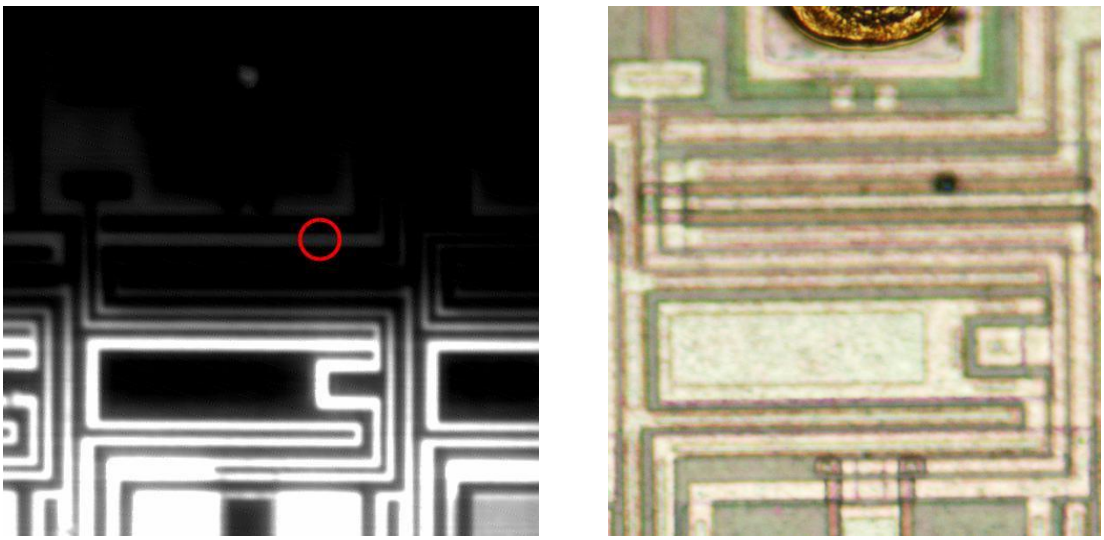


図　5-16：故障箇所 2

図 5-17 は Pch ゲートの側面より PN 接合面を狙いジャンクションを破壊した故障個所を OBIC で観察したものである．こちらの回路も先ほどの回路と同じように Nch の拡散層に異常が見られる．

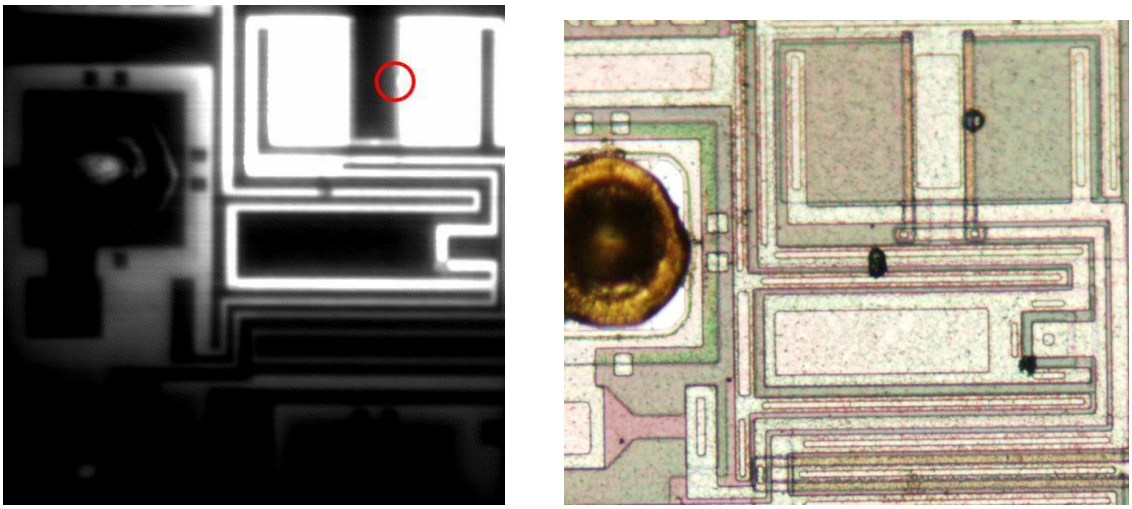


図　5-17：故障箇所 3

図 5-17 は Nch ゲート側面より PN 接合面を狙いジャンクションを破壊した故障個所である．こちらのサンプルでも拡散層でリーク電流を確認することができる．

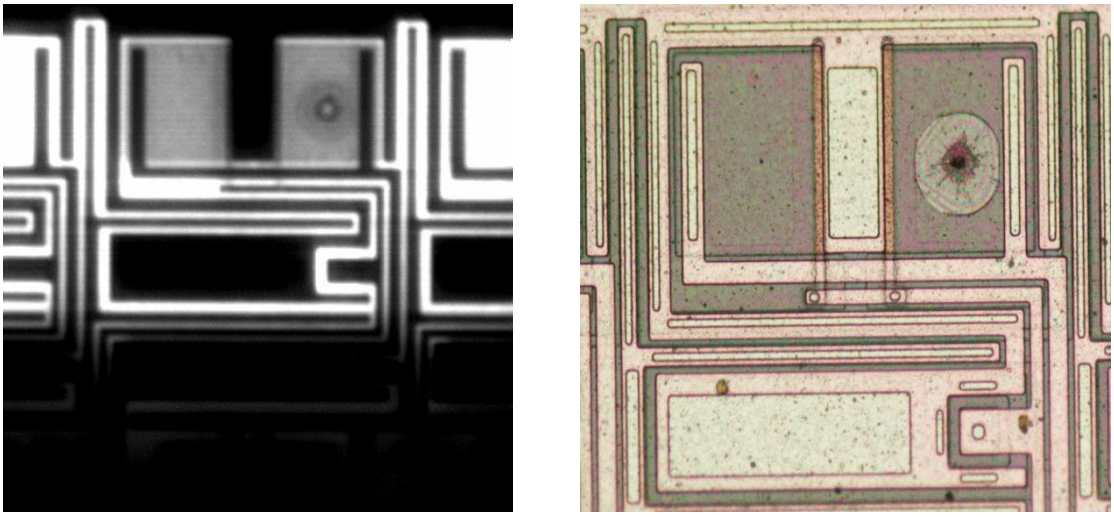


図　5-18：故障個所 4

図 5-18 は Nch の拡散層より下部に存在する PN 接合に向けレーザを照射し，ピンホール破壊を作製した故障個所である. OBIC 像からレーザ痕を確認することはできるが，故障特性を検出することができなかった.

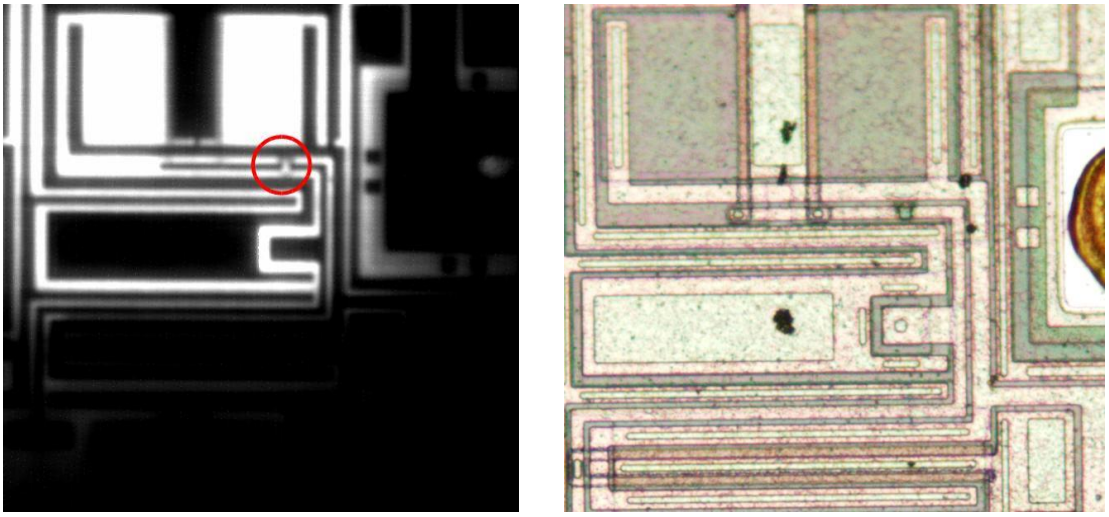


図　5-19 故障個所 5

図 5-19 はレーザで配線を切断し Nch ゲートオープンを作製したサンプルの OBIC 像である. ゲートオープンにたいしても拡散層でリーク電流を確認することができた.

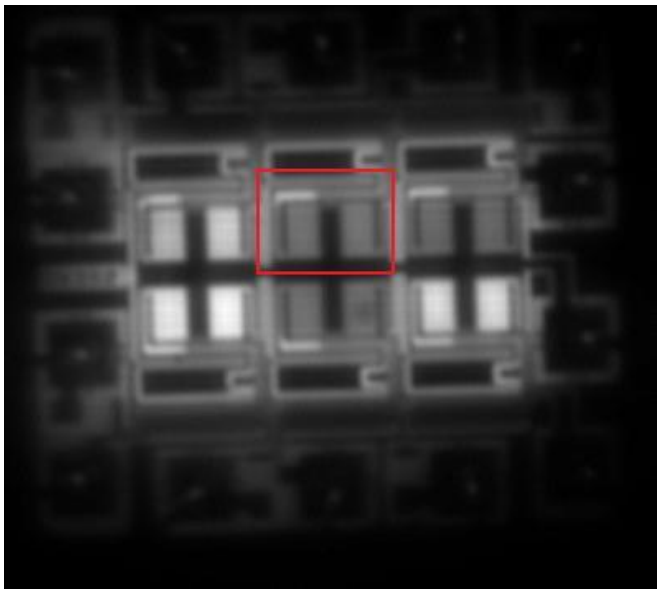
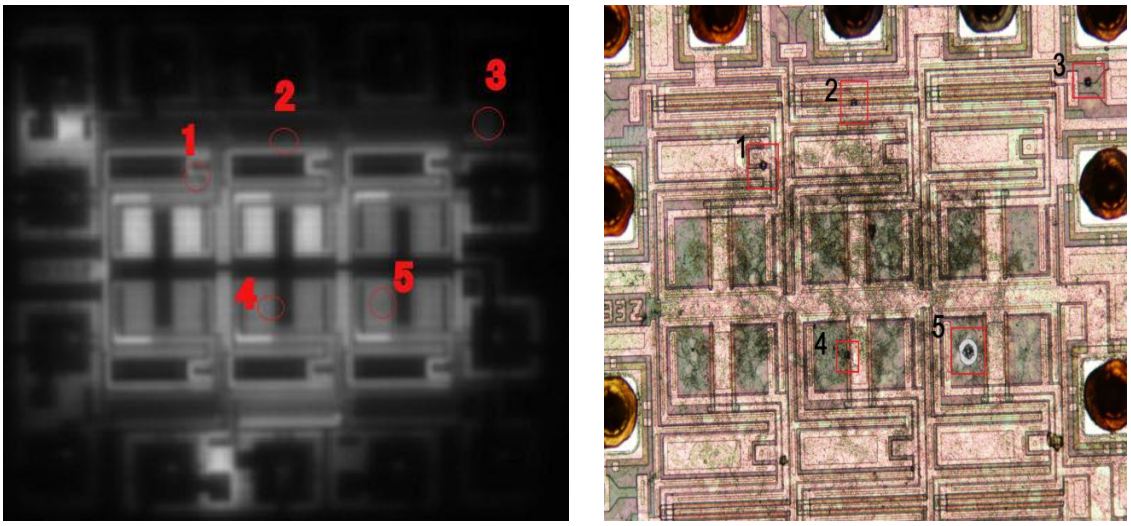


図　5-20：全体図，0.5[V]印加

図 5-20 は先ほどのサンプル 1 の VDD に 0.5[V]を印加した際の全体像である．図 5-14 の OBIC 像と比べて 4 つある拡散層の異常の中で，赤い四角で囲んでいる部分(故障個所 2)の拡散層だけが唯一変化しリーク電流が確認出来なくなったことがわかる．

5.4　YAG レーザ破壊サンプル 2



(i)：OBIC 像　　(ii)：光学顕微鏡

図　5-21：全体像

図 5-21(i)は(ii)を倍率 90 倍で見た OBIC 像である．
今回のサンプルでは故障個所 1，2 の拡散層にリーク電流を確認出来る．

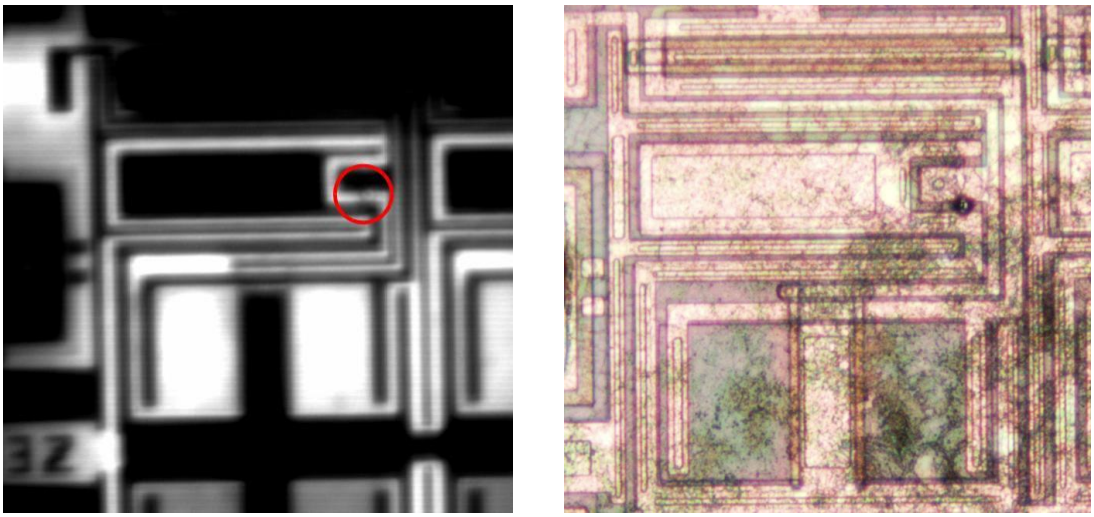


図　5-22：故障個所 1

図 5-22 保護回路より PN 接合面を狙いジャンクション破壊を行った．レーザ照射箇所はサンプル 1 の故障個所 1 とほぼ同じ箇所である．OBIC 像からも Nch 拡散層にリーク電流を確認することができた．特性としても同じものを示した．

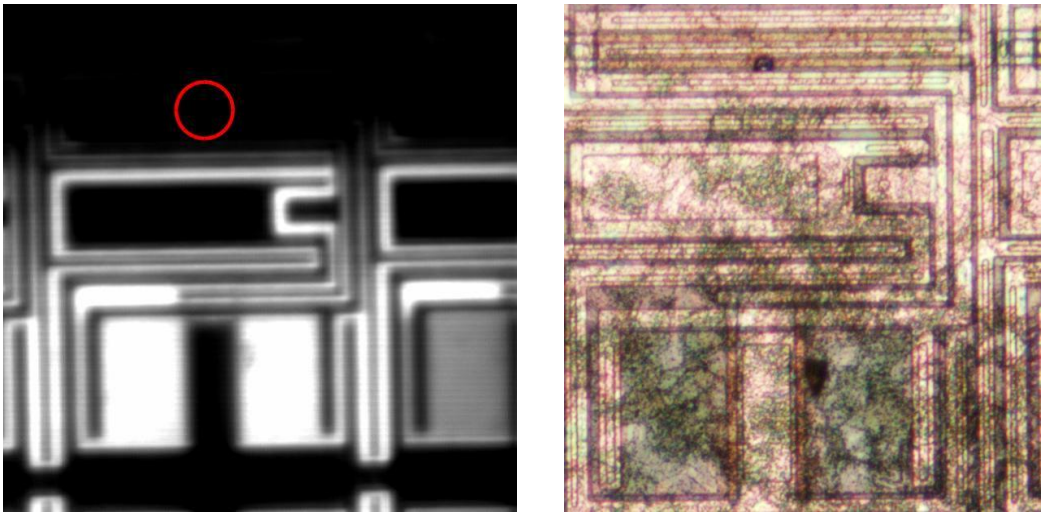


図　5-23：故障個所 2

図 5-23 は Pch ゲート側面より PN 接合を狙ったものである. サンプル 1 の故障個所 2 とレーザ照射箇所は似ているが，ソースを挟んで反対側のゲート側面よりレーザを照射している. OBIC 像からは拡散層にリーク電流を確認することができた.

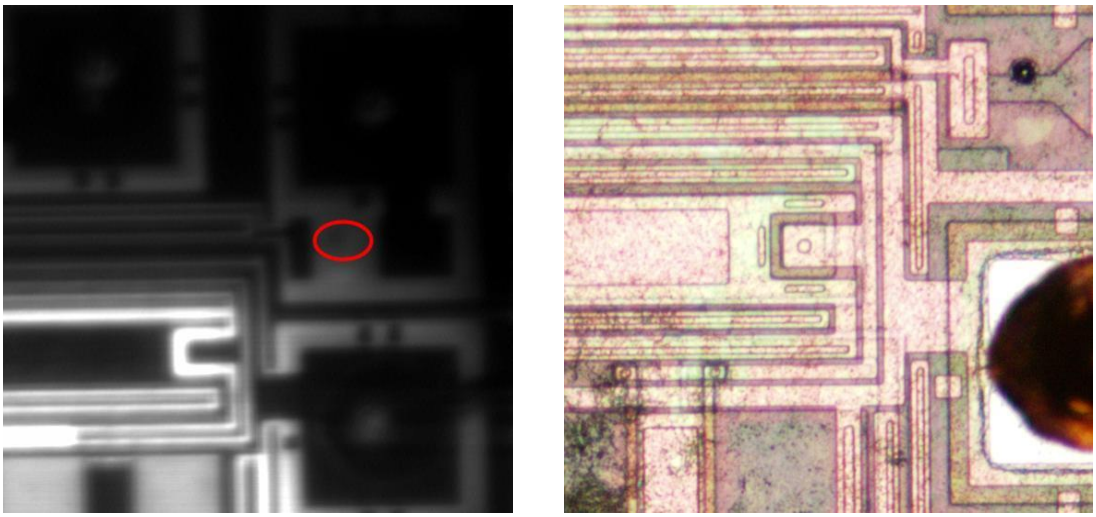


図　5-24：故障個所 3

図 5-24 は 9 ピンの保護回路側面より PN 接合を狙いジャンクション破壊を行った．OBIC 像からは故障箇所を確認することはできなかった.

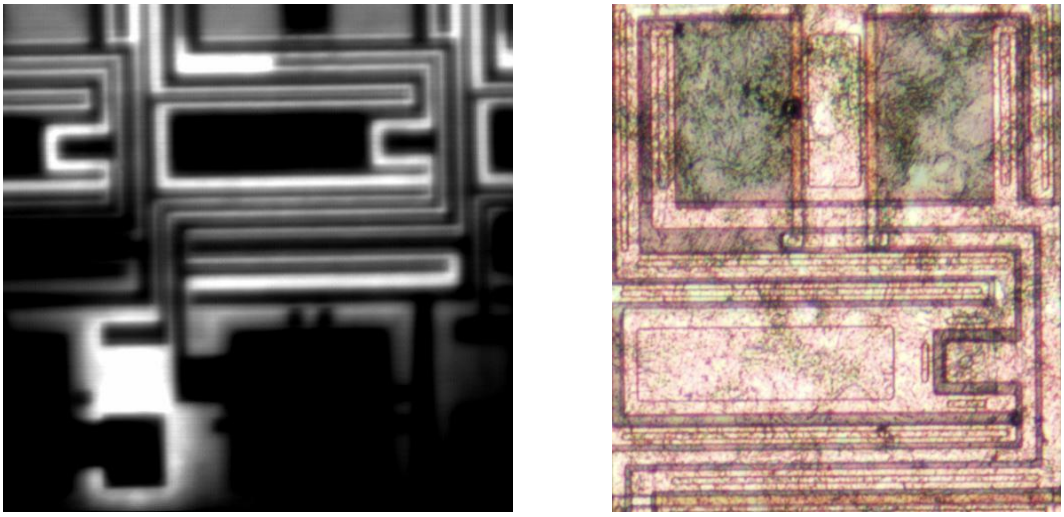


図　5-25：故障個所 4

図 5-25 は Nch ゲート側面より PN 接合を狙いジャンクション破壊を行った．サンプル 1 の故障個所 3 と破壊箇所は似ているが，ソースを挟んで反対側のゲート側面よりレーザを照射した．サンプル 1 では拡散層にリーク電流が発生したが今回は Pch にリーク電流を確認することができた．

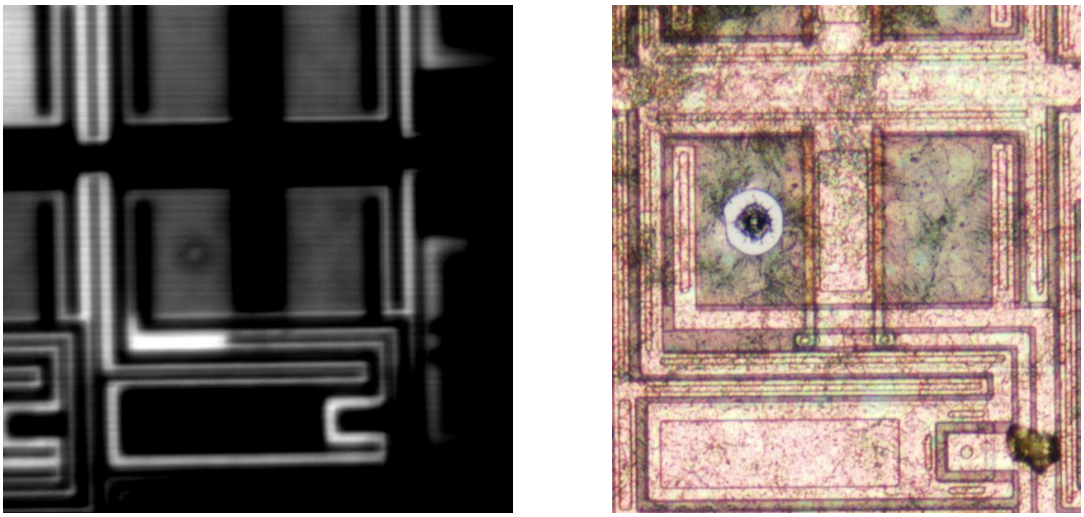


図　5-26：故障個所 5

図 5-26 は拡散層にレーザを照射しピンホール破壊を作製した故障個所である．サンプル 1 の故障個所 4 と同様にレーザ痕は確認することができるが，故障特性を検出することはできなかった．今回作製したピンホール破壊で故障を確認

できなかったのは，拡散層の厚みでレーザが PN 接合面に到達することが出来ず，ジャンクション破壊に至らなかった事が原因と考えられる．
他の破壊箇所については側面よりレーザを照射しているためジャンクション破壊に成功したと考えられる．

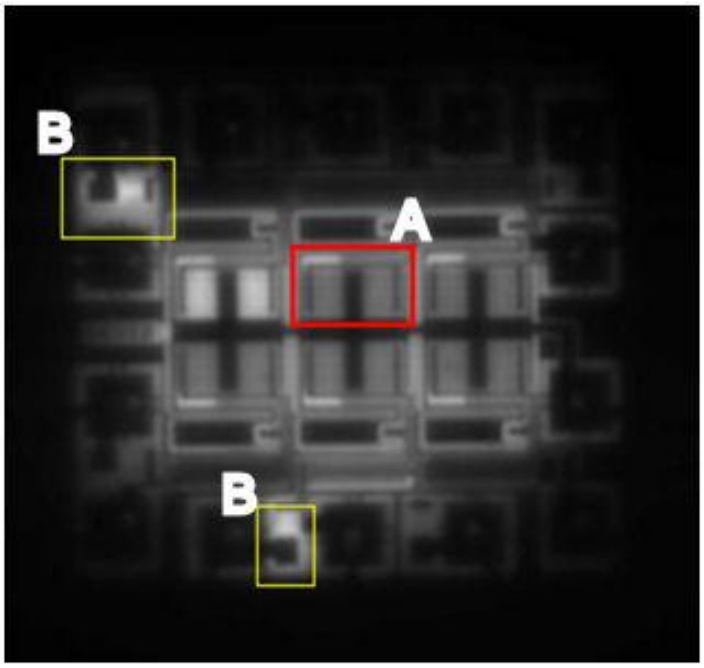


図　5-27：全体像，0.5[V]印加

図 5-27 は VDD に 0.5[V]を印加した際のサンプル 2 の全体像である．サンプル 1 と同様に赤枠で囲んでいる(A)拡散層のリーク電流を確認することができなくなった．また，気になる点として黄枠で囲んでいる部分(B)も正常品に比べ発光が確認出来る．この保護回路の発光はジャンクション破壊によって基板にリークした電流による影響と考えられる．

第６章　　考察・結論

この章では本研究の考察，結論について述べる

考察

正常状態で Nch が Pch よりも OBIC 像の発光が強く確認できたのは，Nch の多数キャリアが電子で Pch の多数キャリアが正孔であり，電子の移動度は 1350 ㎠／v・s，正孔の移動度は 480 ㎠／v・s と電子の方が大きく，発生する光電流に違いを与えたと考えられる．

ESD 破壊では VDD に 0.28[V]を印加した際に異常発光していた拡散層の発光が見られなくなった．これは電圧を印加したことによる基板電位の上昇によりリーク電流が検出出来なくなったためと考えられる．

エキシマレーザ破壊で VDD に 0.5[V]を印加した際に拡散層の発光が見られなくなったのも，基板電位の上昇によりリーク電流を検出できなくなった為で，印加後もリーク電流を観察できた拡散層には基板電位の影響以上のリーク電流が発生していたと考えられる．また，リーク電流を検出できなくなった回路は共に Pch 側のジャンクションを破壊しており，そのことがリーク電流の発生量に差を生じたのではないかと考えられる．

結論

OBIC 像の正常品と故障品を比較することにより，表面上では確認できない内部のリーク電流発生箇所を発見することが出来た．

今回の実験ではゲートオープンの状態で観察を行っていた為，常に中間電位となり Tr の ON，OFF については考慮することが出来なかった．

複数の方法で故障の作り込みを行ったが，結果としてほとんどの故障がリーク電流として拡散層に現れた．だが PN 接合異常によるリーク電流の検出など，OBIC 装置の特性を活かす観察を行うことができた．

故障の原因となるチップ上の欠陥箇所と異常電流の発生箇所は必ずしも同じではないので，OBIC だけで故障原因を発見することは困難だが，レーザ顕微鏡としての光学像を併用することでチップ上の欠陥箇所の観察も可能である

謝辞

本研究をおこなうにあたり，ご指導賜った眞田克教授に深く感謝申し上げます．また常日頃相談にのってくださった研究室の先輩方に深く感謝申し上げます．

参考文献

［1］志村史夫 著　『固体電子論入門』丸善株式会社　［1998］

［2］原口康史 著 『Optical Beam Induced Current を用いた半導体故障解析』
駿河精機株式会社［2007］

［3］大出孝博 著　『レーザ捜査顕微鏡の開発』日経サイエンス［1990］
『光電流を計るレーザ顕微鏡』
レーザーオリジナル　第 24 巻 第 10 号 ［1996］

［4］真田克 著　『レーザプロービングの作り込みによる LSI 内部動作解析』
電子情報通信学会　信学技報

［5］森脇健太 著　『OBIC 利用による LSI の研究』高知工科大学［2006］

［6］桑田雄一 著　『レーザ照射による励起キャリアの挙動追跡』
高知工科大学［2007］

［7］倉内真吾 著 『ESD 破壊試験装置の評価と改良』 高知工科大学 ［2009］

［8］プラズマエッチング装置
http://www.jpo.go.jp/shiryou/s_sonota/hyoujun_gijutsu/semicon_vacuum_tech/1_8_1.htm

PDF ファイル　TOSHIBA　TC4069UBP/UBF/UBFT
故障解析　テクニカル・ノート PQ10478JJ02V0TN